

ESTELA MARY FERNANDES DE SÁ

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE QUEIJOS
CREMOSOS: INFLUÊNCIA DE POLISSACARÍDEOS E
TRANSGLUTAMINASE**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos da Universidade Federal
de Santa Catarina, como requisito
final à obtenção do título de Mestre
em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof^a Marilde T. Bordignon Luiz, Dra.

FLORIANÓPOLIS

2008

Sá, Estela Mary Fernandes de

Propriedades físicas e químicas de queijos cremosos: influência de polissacarídeos e transglutaminase/ Estela Mary Fernandes de Sá; orientadora, Marilde T. Bordignon-Luiz – Florianópolis: [sn], 2008. xx, 172f.: il.; 30 cm

Dissertação (mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2008)

Inclui bibliografias e índice

1. Queijo cremoso. 2. Soro de leite líquido. 3. Xantana. 4. Guar. 5. Locusta. 6. Transglutaminase. 1. Bordignon-Luiz, Marilde T. 11. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título

ESTELA MARY FERNANDES DE SÁ

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE QUEIJOS CREMOSOS:
INFLUÊNCIA DE POLISSACARÍDEOS E TRANSGLUTAMINASE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Dra. Marilde Terezinha Bordignon Luiz – UFSC/CCA/CAL
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes - USP/SP

Prof. Dr. Honório Domingos Benedett - UFSC/CCA/CAL

Profa. Dra. Roseane Fett - USFC/CCA/CAL

Profa. Dra. Marilde Terezinha Bordignon Luiz – UFSC/CCA/CAL – Orientadora

Aprovada pela banca examinadora em 23 de junho de 2008.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por tudo, especialmente pela família que tenho.

Aos meus pais, Eunice e Volney, que são minha fortaleza, meus exemplos de vida. Obrigada pelo apoio e pelo incentivo, pra que eu sempre pudesse realizar meus sonhos.

Ao Eduardo, meu amor, pela compreensão.

À professora Marilde, pela amizade, pelos ensinamentos e pela paciência.

Aos colegas de trabalho, da Educação de Jovens e Adultos do Sesi-Rio do Sul (SC), pela amizade, compreensão, apoio, em especial à Sabrina, Bárbara, Marcelo, Irene e a Fabiana Pasqualini.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica, pela companhia e amizade.

Aos amigos, Cony Gauche, Ana Paula Hofling, Vivian Burin e Felipe Damo.

Aos professores do Programa pela paciência em ensinar e utilizar os equipamentos, em especial ao prof. Pedro Barreto e prof. Alicia de Francisco.

Ao professor Luiz Salomão, do Programa de Pós-Graduação em Design Gráfico, pelo auxílio e paciência na formatação deste trabalho.

À banca, por aceitar o convite de participação e pelas contribuições fornecidas.

À Ajinomoto® e à Gemacon® por fornecer a enzima transglutaminase e os polissacarídeos (xantana, guar e locusta), respectivamente.

Ao Laticínio Riolat - Rio do Oeste (SC), em especial ao Sr. Gilberto Marchi, pelo apoio à pesquisa.

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: avaliar a influência de polissacarídeos, nas propriedades físicas e químicas de queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido e diferentes processos de coagulação, durante 21 dias de armazenamento; avaliar as reações promovidas pela transglutaminase nas etapas de coagulação de leite por renina, e seu impacto nas propriedades físico-químicas e físicas de queijos cremosos. Foi analisada a influência de gomas: xantana (0,2% p/p) e xantana combinada com locusta (0,1 a 0,3% p/p) e guar (0,1 a 0,3%p/p) em queijos cremosos elaborados com gel ácido e gel enzimático. Como também a influência da transglutaminase (TG) em diferentes fases da coagulação do leite por renina, na formação de géis lácteos e queijos cremosos elaborados com estes géis. Os parâmetros analisados foram os físico-químicos, índices de sinerese e de separação de soro e o comportamento reológico. Além da análise microscópica de fluorescência que foi realizada para as amostras com xantana. A xantana se mostrou eficiente no aumento de viscosidade das amostras, resultando em uma matriz protéica mais uniforme e menos porosa, e conseqüentemente dificultando a separação de soro dos queijos cremosos elaborados com géis ácidos e enzimáticos. Em relação às amostras com polissacarídeos combinados as amostras apresentaram maior índice de consistência, com comportamento pseudoplástico com tixotropia, quando utilizou-se as proporções de 0,2% xantana / 0,2% locusta e géis enzimáticos. Para os géis ácidos, os maiores valores para o índice de consistência (K) foram obtidos para os polissacarídeos nas concentrações 0,2% xantana / 0,3% locusta, assim como para a viscosidade aparente, resultados observados a partir do 15º dia de armazenamento. Para as amostras elaboradas com diferentes processos de coagulação e polissacarídeos combinados, a amostra elaborada com gel

enzimático apresentou maior consistência, menor índice de sinerese e de separação de soro. Em relação às amostras adicionadas de transglutaminase, observou-se que a transglutaminase adicionada 7 minutos após a adição de renina, apresentou forte correlação (94,83%) com o teor de proteína, sólidos totais e propriedades reológicas, preservando as propriedades coagulantes da renina. Os polissacarídeos (combinados ou não) e a transglutaminase se mostraram eficientes em reduzir índices de sinerese e separação de soro, e aumentar a viscosidade das amostras de queijos cremosos adicionados de soro lácteo.

Palavras-chave: Queijo cremoso. Soro de leite. Xantana. Guar. Locusta. Transglutaminase.

ABSTRACT

The aims of this study were: to evaluate the influence of the polysaccharides, on the physical and chemical properties of the cream cheeses manufactured with milk whey and different coagulations, during 21 days of storage; to evaluate the reactions led by transglutaminase on stages of renneting, and the results on physical-chemical and physical properties of the cream cheeses.

It was analyzed the influence of the xanthan gum (0,2% w/w) and blend xanthan and locust (0,1 to 0,3 % w/w) and guar (0,1 to 0,3 % w/w) in cream cheeses manufactured with acid and rennet gel. As well as o the influence of the transglutaminase on different stage of renneting, on the milk gel and cream cheese manufactured with these gels. The parameters analyzed were the physical-chemicals, syneresis index and the wheying-off and rheological properties. The fluorescence microscopy analysis was done in the samples with xanthan. The xanthan was efficient on the increase of the viscosity of the samples, resulting more uniform and less porous protein matrix, and consequently decreasing the wheying-off the cream cheese elaborated wit acid and rennet gel. In relation the samples with polysaccharides blend, the samples showed higher consistency index, showing behavior pseudoplastic with tixotropy, and, when it was used 0.2 % (w/w) xanthan / 0.2 % (w/w) locust blend and rennet gel. For the acid gels samples with polysaccharides with 0.2 % (w/w) xanthan / 0.3 % (w/w) locust blend, showed higher values for the consistency index (K) and the apparent viscosity, tythese were results observed in samples with 15 days of storage. In order to evaluate the samples with different coagulations process and polysaccharides blends, the samples manufactured with rennet showed the higher consistency, shorter syneresis index and wheying-off. With regard to samples with transglutaminase, it

was observed that, the samples with transglutaminase was added 7 min after the rennet, had high correlation (94,83%) with the protein, total solids and rheological properties, maintaining renneting properties. The polysaccharides (blend or not) and the transglutaminase were efficient to decrease syneresis index and wheying-off, and to enhance viscosity of the cream cheeses samples with milk whey.

Key-words: Cream cheese. Whey milk. Xanthan. Guar. Locust. Transglutaminase.

LISTA DE ABREVIATURAS

α – alfa

β – beta

γ – gama

$\dot{\gamma}$ – taxa de deformação

σ – tensão de cisalhamento

σ_0 – limite de escoamento

A – tensão inicial requerida

B – coeficiente de ruptura tixotrópica

EC – Classe Enzimática

F – força aplicada na direção do escoamento (Newton, dina)

K – índice de consistência (Pa.s^n)

K_{oc} – limite de escoamento de Casson

K_c – viscosidade plástica de Casson

n – índice de comportamento de fluxo (adimensional)

Pa – Pascal

S – área da superfície exposta ao cisalhamento (m^2 , cm^2)

SDS-PAGE – Eletroforese em gel de poliacrilamida com dodecil sulfato de sódio

U/g – Unidade de atividade enzimática por grama

LISTA DE FIGURAS

Seção 1

Figura 1. Seqüência de aminoácidos da caseína α_{s1} bovina.....	29
Figura 2. Seqüência de aminoácidos da caseína α_{s2} bovina.....	30
Figura 3. Seqüência de aminoácidos da β -caseína bovina.....	31
Figura 4. Seqüência de aminoácidos da κ -caseína bovina.....	32
Figura 5. Estrutura primária da β -Lactoglobulina B.....	35
Figura 6. Estrutura primária da α -Lactalbumina B.....	36
Figura 7. Reações catalisadas pela transglutaminase.....	52
Figura 8. Estruturas dos sítios ativos da TG microbiana (esquerda) e da TG Fator XIII (direita).....	52

Seção 2

Figura 1. Histograma e polígono de freqüência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	87
Figura 2. Histograma e polígono de freqüência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	88
Figura 3. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos durante o período de armazenamento.....	94

Figura 4. Microestrutura dos queijos cremosos após 7 dias de armazenamento.....	98
---	----

Seção 3

Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	117
Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	118
Figura 3. Interação entre percentual de umidade e índice de comportamento de fluxo para as amostras de queijos cremosos com 7 dias de armazenamento.....	121
Figura 4. Relação entre tensão de cisalhamento <i>versus</i> taxa de deformação das curvas de fluxo (ida e volta) do queijo cremoso.....	126
Figura 5. Curva de fluxo dos queijos cremosos com polissacarídeos combinados.....	128

Seção 4

Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes	
---	--

formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	147
Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	148
Figura 3. Curvas de fluxo dos queijos cremosos armazenados durante 7, 15 e 21 dias.....	153
Figura 4. Interação entre percentual de umidade e índice de comportamento de fluxo para as amostras de queijos cremosos com 7 dias de armazenamento.....	159

Seção 5

Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	175
Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.....	176
Figura 3. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos elaborados com gel ácido durante todo o período de armazenamento.....	189
Figura 4. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos elaborados com gel enzimático durante todo o período de armazenamento	190

Seção 6

Figura 1. Curvas de comportamento de fluxo das amostras de queijos cremosos elaborados com adição de transglutaminase.....	215
Figura 2. Representação da curva de histerese obtida através da tensão de cisalhamento <i>versus</i> taxa de deformação das amostras de queijo cremoso.....	220
Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento <i>versus</i> log do tempo para os queijos cremosos a uma taxa de deformação constante de $7,40\text{ s}^{-1}$	222
Figura 4. Análise de componentes principais, como uma função do primeiro <i>versus</i> o segundo componente.....	225
Figura 5. Perfil de eletroforese em SDS-Page de amostras de leites tratados com transglutaminase e renina.....	230

LISTA DE TABELAS

Seção 1

Tabela 1. Composição físico-química variável do soro doce e ácido.....	42
--	----

Seção 2

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.....	82
Tabela 2. Análises físico-químicas de queijos cremosos com diferentes géis lácteos e com adição de xantana.....	90
Tabela 3. Índices de sinerese e separação de soro dos queijos cremosos..	91
Tabela 4. Parâmetros reológicos dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham e lei de Potência.....	95

Seção 3

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.....	112
Tabela 2. Análise físico-química das amostras de queijos cremosos.....	120
Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, lei de Potência, Casson e Herschel-Bulkley durante 21 dias de armazenamento.....	122
Tabela 4. Parâmetros reológicos (curvas de volta) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, lei de Potência, Casson e Herschel-Bulkley durante 21 dias de armazenamento.....	124

Seção 4

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.....	143
Tabela 2. Análises físico-químicas das amostras de queijos cremosos.....	150
Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida e volta) dos queijos cremosos obtidos pelo modelo de lei de Potência durante 21 dias de armazenamento.....	151

Seção 5

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.....	170
Tabela 2. Análises físico-químicas dos géis e dos soros.....	178
Tabela 3. Análises físico-químicas dos queijos cremosos.....	179
Tabela 4. Índices de sinerese dos queijos cremosos.....	181
Tabela 5. Índices de separação de soro dos queijos cremosos.....	184
Tabela 6. Parâmetros reológicos dos queijos cremosos (modelo lei de Potência).....	186

Seção 6

Tabela 1. Análises físico-químicas dos géis lácteos, soros e queijos cremosos.....	211
Tabela 2. Análises de separação de soro e sinerese dos géis lácteos e queijos cremosos.....	213
Tabela 3. Parâmetros reológicos das amostras de queijos cremosos	

	obtidos pelo modelo de lei de Potência.....	217
Tabela 4.	Parâmetros tixotrópicos obtidos através do Modelo de Weltmann para as amostras de queijos cremosos e submetidas ao tratamento enzimático com transglutaminase.....	221
Tabela 5.	Cargas fatoriais dos parâmetros físico-químicos, reológicos e tixotrópicos das amostras de queijos cremosos.....	226

SUMÁRIO

Introdução.....	21
1. Revisão Bibliográfica.....	23
1.1 Proteínas lácteas.....	25
1.1.1 Caseínas.....	25
1.1.2 Proteínas do soro.....	32
1.1.1.1 Propriedades nutricionais das proteínas de soro	36
1.1.1.2 Funcionalidades das proteínas de soro.....	38
1.2 Produção de géis lácteos.....	39
1.3 Coagulação enzimática do leite.....	39
1.4 Coagulação ácida do leite.....	41
1.5 Soro líquido.....	41
1.6 Queijos.....	43
1.7 Sinerese.....	46
1.8 Polissacarídeos	47
1.9 Transglutaminase.....	49
1.9.1 Transglutaminase em produtos lácteos.....	53
1.10 Reologia.....	54
1.10.1 Modelos reológicos.....	56
1.10.2 Comportamento reológico de produtos lácteos.....	58
1.11 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-Page).....	61
1.12 Referências.....	63
2. Queijos cremosos com teor reduzido de gordura, elaborados com diferentes processos de coagulação e goma xantana.....	75

3. Perfil reológico de queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido: influência de diferentes combinações de polissacarídeos.....	107
4. Caracterização reológica de queijos cremosos elaborados com gel ácido, polissacarídeos e soro de leite líquido.....	137
5. Caracterização de queijos cremosos elaborados com polissacarídeos e diferentes processos de coagulação.....	163
6. Influência da Transglutaminase microbiana na coagulação de géis lácteos enzimáticos e nas propriedades de queijos cremosos.....	197
Conclusões.....	233

Introdução

O soro era tratado, como um produto secundário sem qualquer valor comercial, descartado em cursos de água ou incorporado em rações para animais. Esta abordagem está abandonada e, dadas as suas excelentes propriedades funcionais e nutricionais, hoje é tratado como um produto com elevado valor agregado. Dentre os componentes do soro destacam-se as proteínas, que podem ser obtidas na forma de concentrados ou isolados apresentando-se como sistemas multifuncionais que vêm sendo adicionados a diversos alimentos, com o objetivo de modificar propriedades através de gelatinização, aumento de viscosidade, estabilização de emulsões ou espumas, entre outros, sugerindo específicas propriedades físicas aos produtos. Proteínas do soro podem ser incorporadas em queijos nas formas nativa e desnaturada (HINRICHS, 2001; ANTUNES; MOTTA; ANTUNES, 2003; PATOCKA et al., 2006).

Os constituintes protéicos do soro, não coaguláveis pelo coalho, constituem os “queijos de soro”, que são fabricados em todo mundo, de acordo com métodos tradicionais e em pequena escala, via desnaturação dessas proteínas. Sendo que a ricota é o mais importante, e conhecido queijo de soro (PINTADO; MACEDO; MALCATA, 2001). As exigências de mercado em relação a produtos mais nutritivos e saudáveis, particularmente no que se refere ao teor de gordura, estimulam a produção de novos produtos lácteos, com consistência de patê. Com isso, o produto final contém proteínas de fácil digestão e alto valor biológico (RIBEIRO et al., 2005). Considerando os queijos de soro que possuem curta vida-de-prateleira, novas alternativas são usadas para aplicar esses queijos como ingredientes, aumentando a produção consideravelmente e reduzindo custos com outros ingredientes.

Em produtos lácteos é comum ocorrer um problema de separação das fases, que confere ao produto um aspecto desagradável. A adição de soro diminui ainda mais a viscosidade do produto, para minimizar esses problemas utiliza-se polissacarídeos isoladamente ou combinados (SANCHEZ et al., 2000; SOLER et al., 2001; VERBEKEN et al., 2006). Esses polissacarídeos possuem uma ampla gama de propriedades funcionais, atuando como estabilizantes, espessantes, gelificantes, substitutos de gordura, sendo muitas vezes os principais responsáveis pela textura (corpo, viscosidade e consistência) dos alimentos (ERNANDES; GARCIA-CRUZ, 2005; MARUYAMA et al., 2006).

A enzima transglutaminase, que possui a principal função de promover ligações cruzadas entre aminoácidos, que passam a ser o meio potencial para o melhoramento das propriedades funcionais de proteínas lácteas, já que as caseínas são altamente reativas para esta enzima (BONISCH; HEIDEBACK; KULOSIK, 2008).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de xantana e de diferentes géis nas propriedades físico-químicas, de sinerese, separação de soro, e reológicas de queijo cremoso com teor reduzido de gordura; estudar a influência de polissacarídeos no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro líquido; estudar a influência de polissacarídeos no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro líquido durante 21 dias de armazenamento; estudar a influência de diferentes combinações de polissacarídeos xantana/locusta e xantana/guar, em queijos cremosos elaborados com soro líquido e diferentes processos de coagulação, durante 7, 15 e 21 dias de armazenamento; avaliar a influência das ligações cruzadas promovidas pela TG nas diferentes etapas de coagulação de leite por renina.

1. Revisão Bibliográfica

1. Revisão Bibliográfica

1.1 Proteínas lácteas

As proteínas do leite constituem ingredientes dos mais valorizados pelas suas excelentes propriedades nutritivas, tecnológicas e funcionais. O conhecimento das diferenças estruturais e das propriedades físico-químicas entre as várias formas de caseína e proteínas do soro é indispensável para a compreensão do comportamento tecnológico e funcional, nutritivo e fisiológico dessas proteínas, como parte de um sistema alimentício (SGARBIERI, 2005).

1.1.1 Caseínas

As caseínas constituem aproximadamente 80% das proteínas totais encontradas no leite bovino. Há quatro subgrupos nesta família de fosfoproteínas, as quais são designadas α_{S1} -, α_{S2} -, β - e κ -caseínas, reunidas na forma de um complexo estável (cálcio-fosfato-proteína) formando a chamada micela (RASMUSSEN et al., 1999; KRUIF, 1999; HORNE, 2003; FARRELL JR, et al., 2006).

As micelas de caseínas são colóides de fosfoproteínas que possuem a habilidade em manter os fosfatos de cálcio em um estado solúvel e biodisponível. A característica das caseínas é seu alto conteúdo de resíduos de serina fosforilada (SerP), que são essenciais para a interação com o fosfato de cálcio inorgânico (RASMUSSEN et al., 1999).

A caseína α_{S1} , a qual constitui 40% das frações de caseínas do leite bovino, tem hidrofobicidade média, sendo insolúvel nas condições de pH, temperatura e força iônica que ocorrem naturalmente no leite e possui massa molecular de 23,6 kDa. A estrutura primária da caseína está apresentada na Figura 1 (SGARBIERI, 1996). As cargas e as cadeias laterais hidrofóbicas são muito irregulares na α_{S1} . Isto confere à molécula um comportamento dipolar com um pólo globular muito mais hidrofóbico e um pólo carregado, assim se pode estabelecer três partes hidrofóbicas, compreendidas entre os resíduos 1-44, 30-113 e 132-199 e uma parte fosforilada (resíduos 41-80), que representa quase a totalidade da carga negativa (-20,6) a pH 6,6.

As caseínas α_{S2} são as mais hidrofílicas, as quais constituem 10% das caseínas de leite bovino, porque é a mais fosforilizada (10 a 13 resíduos fosfoseril/mol) e a mais rica em resíduos catiônicos, e sua estrutura primária está apresentada na Figura 2. Os resíduos fosfoserila estão agrupados em três pólos (resíduos 8-16, 56-61 e 129-133) enquanto que as partes hidrofóbicas se limitam às porções 160-207 (seqüência C-terminal) e 90-120 (seqüência central). Esta estrutura sugere que as interações eletrostáticas são muito importantes e dependem do pH. Trata-se de uma proteína cálcio sensível que se agrega na presença de cálcio. (SGARBIERI, 2005; FARRELL JR. et al., 2006).

A caseína β , na presença de cálcio forma suspensões coloidais ao invés de precipitarem e são as mais hidrofóbicas das caseínas. A família das caseínas β constitui cerca de 45% das caseínas de leite bovino, tem peso molecular de 24 kDa e uma cadeia polipeptídica formada de 209 resíduos de aminoácidos e a mais

hidrofóbica das caseínas, sua estrutura primária está apresentada na Figura 3. A estrutura primária da caseína β é suscetível de hidrólise pela protease plasmina nas ligações peptídicas dos resíduos de aminoácidos 28 – 29, 105 – 106 e 107 – 108, produzindo fragmentos peptídicos referidos na literatura como caseínas γ , que permanecem nas micelas, além de pequenos fragmentos que se difundem para a fase líquida (soro), constituindo uma parte da fração proteose-peptona. As partes fortemente carregadas estão separadas por uma parte amplamente hidrofóbica; assim a parte N-terminal (resíduos 1-21) que contém 4 dos átomos de fósforo tem uma carga líquida de -12 a pH 6,6. A estrutura secundária é formada de 10% de α -hélice (97-103, 138-146), 13% folhas β (52-60, 77-87, 187-195) e 77% de estrutura randomizada. (FENNEMA, 2000; SGARBIERI, 2005; FARRELL JR. et al., 2006).

A κ -caseína possui a região carboxiterminal da sequência primária, solúvel na fase do soro, concentra os resíduos de aminoácidos ácidos e a maioria dos hidrofílicos. Cada monômero de caseína κ tem MM de 19 kDa, mas no leite as moléculas encontram-se agregadas em polímeros de MM entre 60 e 150 kDa, formados pela interação das variantes genéticas A e B por ligação dissulfeto. Essa interação pode prosseguir por meio de interações não-covalentes até polímeros de peso molecular de 650 kDa. Os monômeros apresentam considerável heterogeneidade estrutural, por causa das variantes genéticas, podendo ainda apresentar diferentes conteúdos de carboidrato e de fosfato (FARRELL JR. et al., 2006). A estrutura primária da κ -caseína está apresentada na Figura 4. Devido suas características estruturais e da localização de suas moléculas na superfície da micela, atua como estabilizadora dessas micelas, não permitindo a precipitação das caseínas sensíveis ao cálcio por ação dos sais de cálcio do leite. A porção C-terminal compreende o glicomacropeptídeo liberado (106-169), pela ação de

proteases, que contém em sua seqüência os resíduos fosforilados (149) e glicosilados (131, 133, 135 ou 136) assim como as substituições de aminoácidos de variantes A e B (136 e 148) é polar e solúvel. Pelo contrário, a parte N-terminal (1-105) também chamada para- κ -caseína, carregada positivamente a pH 6,6, é muito hidrofóbica e pouco solúvel, que contém os resíduos cisteinil (Cis 11 e Cis 88) (FOX e McSWEENEY, 1998; FENNEMA, 2000).

De todas as caseínas a caseína κ é a menos fosforilada (1P), de estrutura mais estável e mais ordenada, embora contenha muitos resíduos prolil. Possui apenas um resíduo fosforil (SerP-149), localizado no segmento glicomacropeptídio (GMP). A estrutura secundária da caseína κ é formada por cinco regiões em α -hélice (23% do total), sete regiões em folhas β (31% do total) e dez regiões em alças em conformação β (24%). A estrutura secundária do segmento para- κ -caseína é muito ordenada, sobretudo as regiões em folhas β entre os resíduos de aminoácidos 22 – 32 e 40 – 56, e contém dois resíduos cisteinil (cysSH), provavelmente nas voltas β , suscetíveis à oxidação e à reação de intercâmbio sulfidrilo-dissulfeto (CysSH/Cys-S-S-Cys) (SGARBIERI, 2005; CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989).

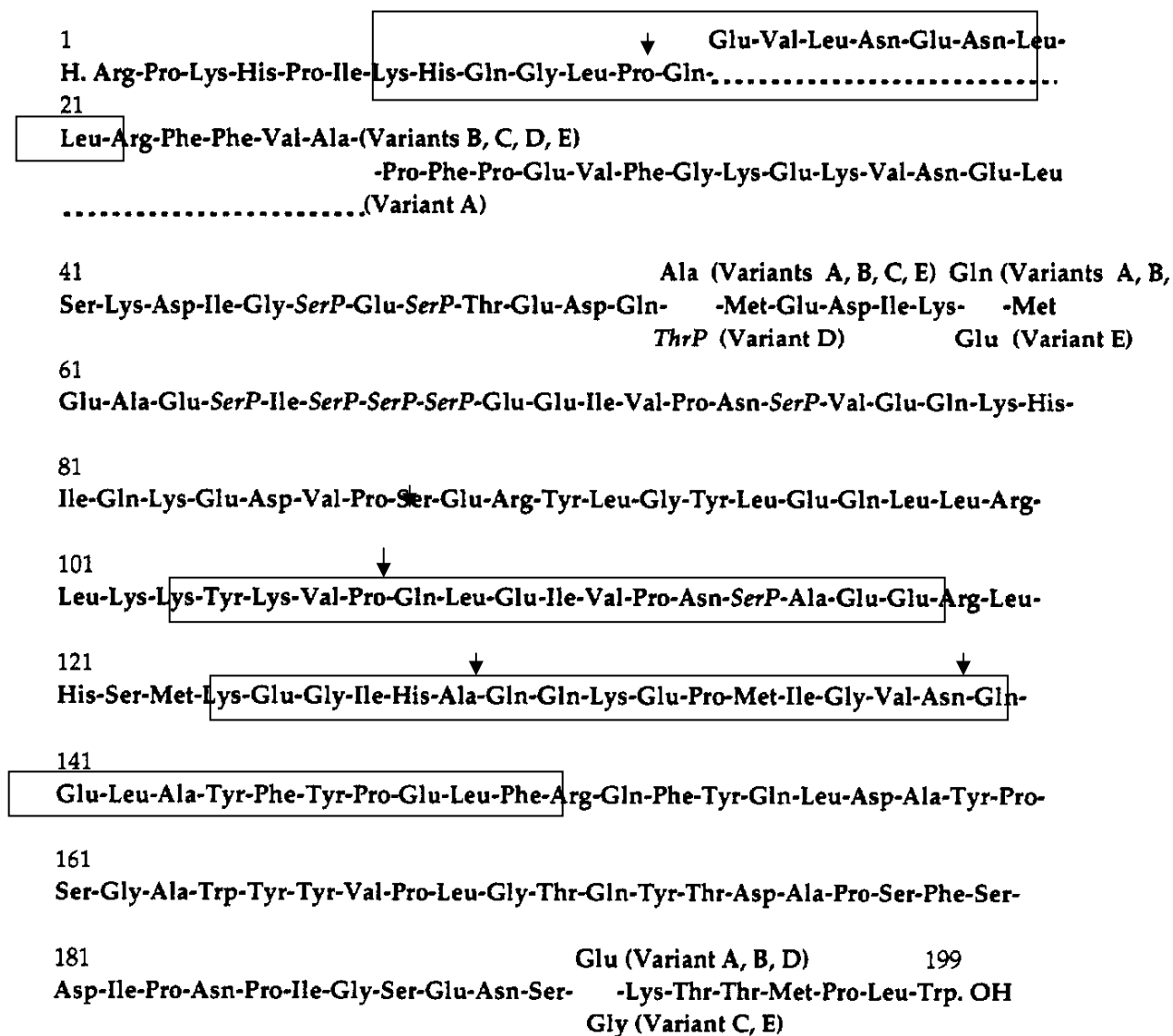


Figura 1. Seqüência de aminoácidos da caseína α_{S1} bovina, apresentando as substituições nas principais variantes genéticas. = Seqüência reativa na reação com transglutaminase; ↓ = glutaminas reativas na reação com transglutaminase.

Fonte: CHRISTENSEN et al., 1996; FOX e McSWEENEY, 1998.



Figura 2. Seqüência de aminoácidos da caseína α_{S2} A, apresentando nove dos 10-13 sítios de fosfoserila. = Seqüência reativa na reação com transglutaminase; ↓ = glutaminas reativas na reação com transglutaminase.

Fonte: CHRISTENSEN et al., 1996; FOX e McSWEENEY, 1998.

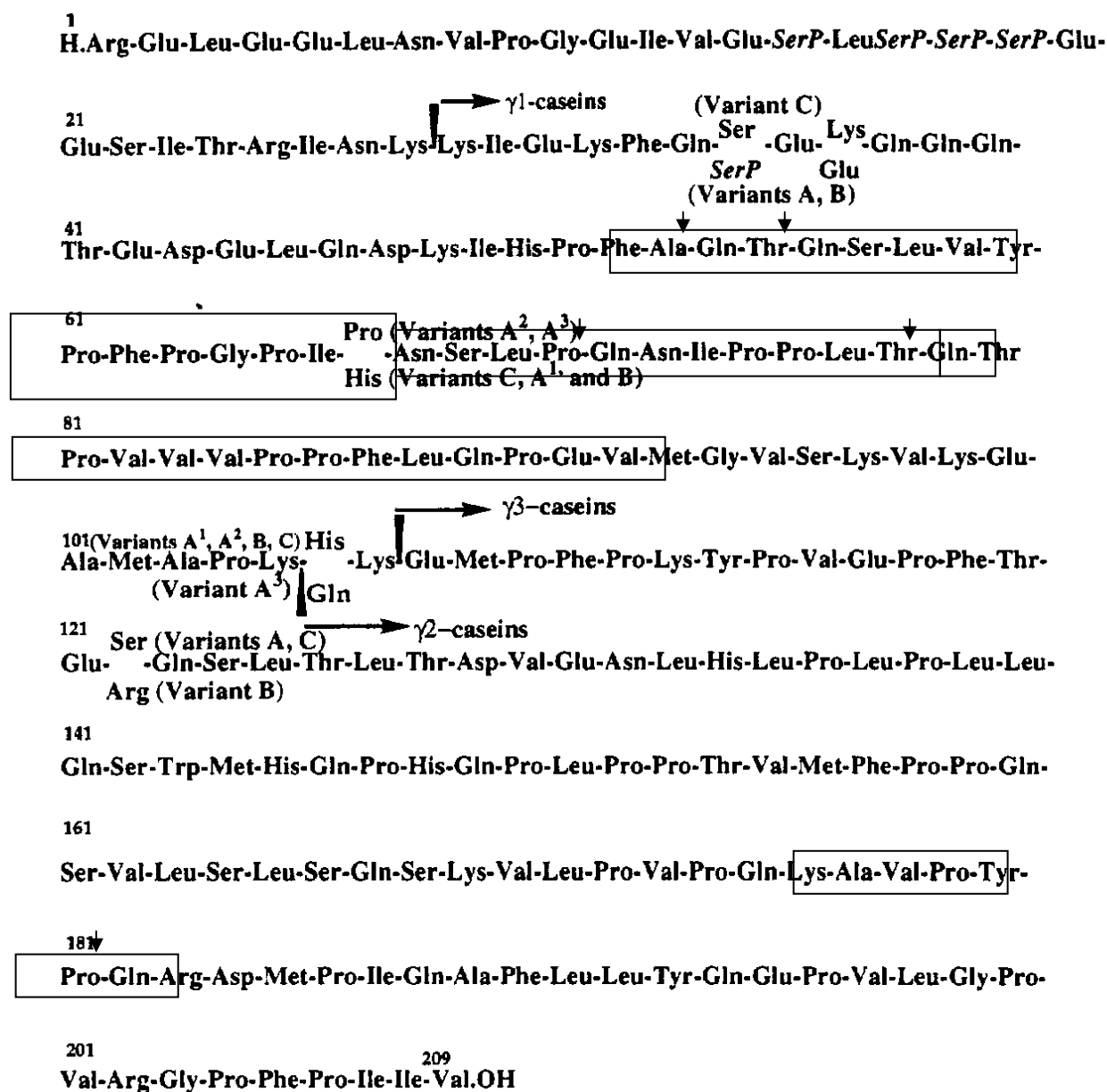


Figura 3. Seqüência de aminoácidos da β -caseína bovina, apresentando as substituições das variantes genéticas e sítios de clivagem por plasmina (Resíduo (29-105) caseína γ 1; Resíduo (29-108) caseína γ 2; Resíduo (107-209) caseína γ 3). = Seqüência reativa na reação com transglutaminase; \downarrow = glutaminas reativas na reação com transglutaminase.

Fonte: FOX e McSWEENEY, 1998; CHRISTENSEN et al., 1996.

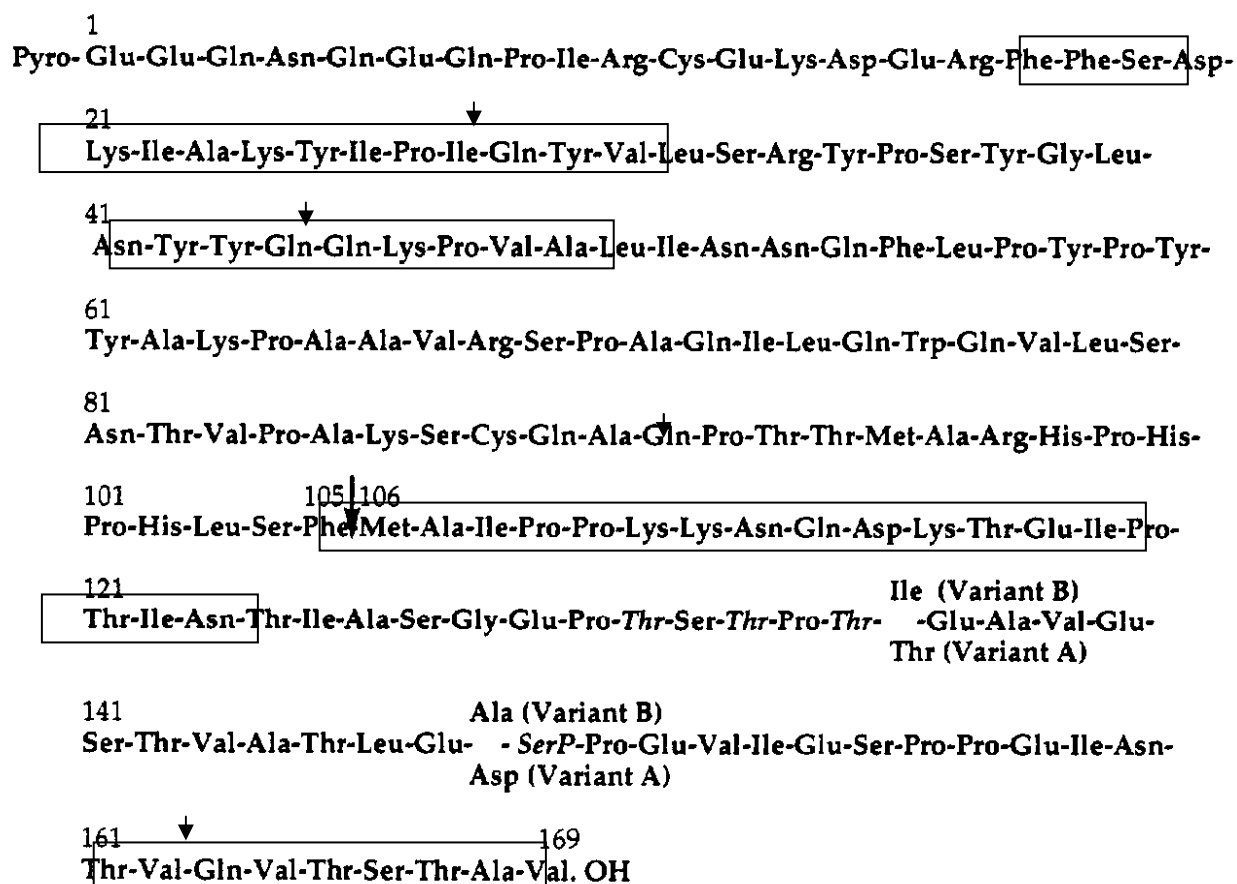


Figura 4. Seqüência de aminoácidos da κ -caseína bovina, apresentado as substituições nas variantes genéticas A e B e o sítio de clivagem da quimosina. = Seqüência reativa na reação com transglutaminase; ↓ = glutaminas reativas na reação com transglutaminase.

Fonte: FOX e McSWEENEY, 1998; CHRISTENSEN et al., 1996.

1.1.2 Proteínas do soro

As proteínas do soro constituem aproximadamente 20% das proteínas totais encontradas no leite bovino, são proteínas solúveis que estão presentes no soro com algumas caseínas e sais não associados (FENNEMA, 2000; FARRELL JR et al.,

2006). O tamanho e forma das principais proteínas do soro de queijo é conhecido, e isto reflete o interesse na avaliação de como essas características estão relacionadas com as funções biológicas dessas proteínas. São um grupo diversificado incluindo β -lactoglobulina (β -Lg) (~55%), α -lactalbumina (α -La) (~24%), soro albumina bovina (BSA) (~5%) e imunoglobulina (IgG) (~15%) e outras em menor proporção (WIT, 1998; PINTADO, MACEDO e MALCATA, 2001). Possuem diferentes estruturas globulares, são altamente digeríveis e rapidamente absorvidas pelo organismo, estimulando a síntese de proteínas sanguíneas e teciduais a tal ponto que podem ser classificadas como proteínas de metabolização rápida, muito adequada para situações de estresses metabólicos em que a reposição de proteínas no organismo se torna emergencial (SGARBIERI, 2004).

A β -Lactoglobulina (β -Lg) (MM = 18 300g/mol ou 18,3 kDa) (Variante A, 18 362g/mol; Variante B, 18 276 g/mol) tem uma estrutura globular na forma nativa. Cada monômero da β -Lg, contém um grupo sulfidril livre (-SH) e é estabilizada por ligações de hidrogênio internas e ligações covalentes de S-S, (C106-C119 e C66-C160) e uma cisteína livre (C121) (Figura 5). A estrutura secundária consiste em aproximadamente 15% de α -hélice e 50% de folha β (folha pregueada), o resto constitui estruturas inorgânicas (SGARBIERI, 1996; RUTTEN, BOUWMAN, LEEDEN, 2002; HONG e CREAMER, 2002; LIVNEY, VERESPEJ e DALGLEISH, 2003). Esta foi a primeira proteína do leite a ser cristalizada e a designação β é derivada do fato de aparecer como segunda banda no perfil de ultracentrifugação do soro de queijo. A estrutura primária consiste em 162 resíduos de aminoácidos dos quais 1 a 3 podem ter diferentes posições nas variantes genéticas da β -Lactoglobulina bovina.

As variantes genéticas das proteínas do leite têm recebido grande interesse pela indústria láctea, em particular, para confirmar a melhor associação com a composição, coagulação com a renina e propriedades do leite na fabricação de queijos (CELIK, 2003). As duas ligações de dissulfeto e o grupo sulfidrila que estão presentes na proteína nativa, tornam-se expostos e ativos depois da desnaturação da proteína pela ação de vários agentes (incluindo aquecimento), e pode haver interação de dissulfeto com a própria cadeia da β -Lg ou outras proteínas (JOVANOVIC, BARAC e MACEJ, 2005).

A α -Lactalbumina (α -La), é uma proteína globular pequena com uma massa molar de 14,2 kDa, contém 123 resíduos de aminoácidos, é estabilizada por quatro ligações de dissulfeto e não contém grupo tiol livre. No entanto, uma dessas pontes de disulfeto é mais susceptível a clivagem que as outras três por causa da sua menor estabilidade (HONG e CREAMER, 2002; JOVANOVIC, BARAC E MACEJ, 2005). Duas variedades genéticas, A e B, diferem pelo resíduo na décima posição, onde na variante A tem-se a glutamina (Gln) que é substituída por arginina (Arg) na variante B (SGARBIERI, 2005), como é apresentado na Figura 6.

Esta proteína possui a capacidade de ligar íons cálcio, além de outros metais como o zinco (BOYE, ALLI e ISMAIL, 1997; PERMYAKOV e BERLINER, 2000). É considerada como a proteína do soro mais estável ao calor. A remoção do Ca^{2+} reduz a estabilidade da estrutura terciária nativa (BOYE, ALLI e ISMAIL, 1997). Quatro resíduos estão envolvidos para a coordenação no sítio que liga o cálcio, no arranjo tetraedral (Thr-38, Gln-39, Asp-83 e o oxigênio da carbonila da Leu-81). O sítio secundário está localizado próximo a superfície da molécula da α -La. Esta

proteína também existe em um número de conformação dependente, incluindo a forma holo (nativa, ligação com cálcio), que é a maior forma nas condições fisiológicas. Esta forma pode ser convertida a apo (íon-metal-livre) por baixo pH (1,7) diálise, ou adição de EDTA a solução de proteína. (PERMYAKOV e BERLINER, 2000).



Figura 5. Estrutura primária da β -Lactoglobulina B.

Fonte: CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989.

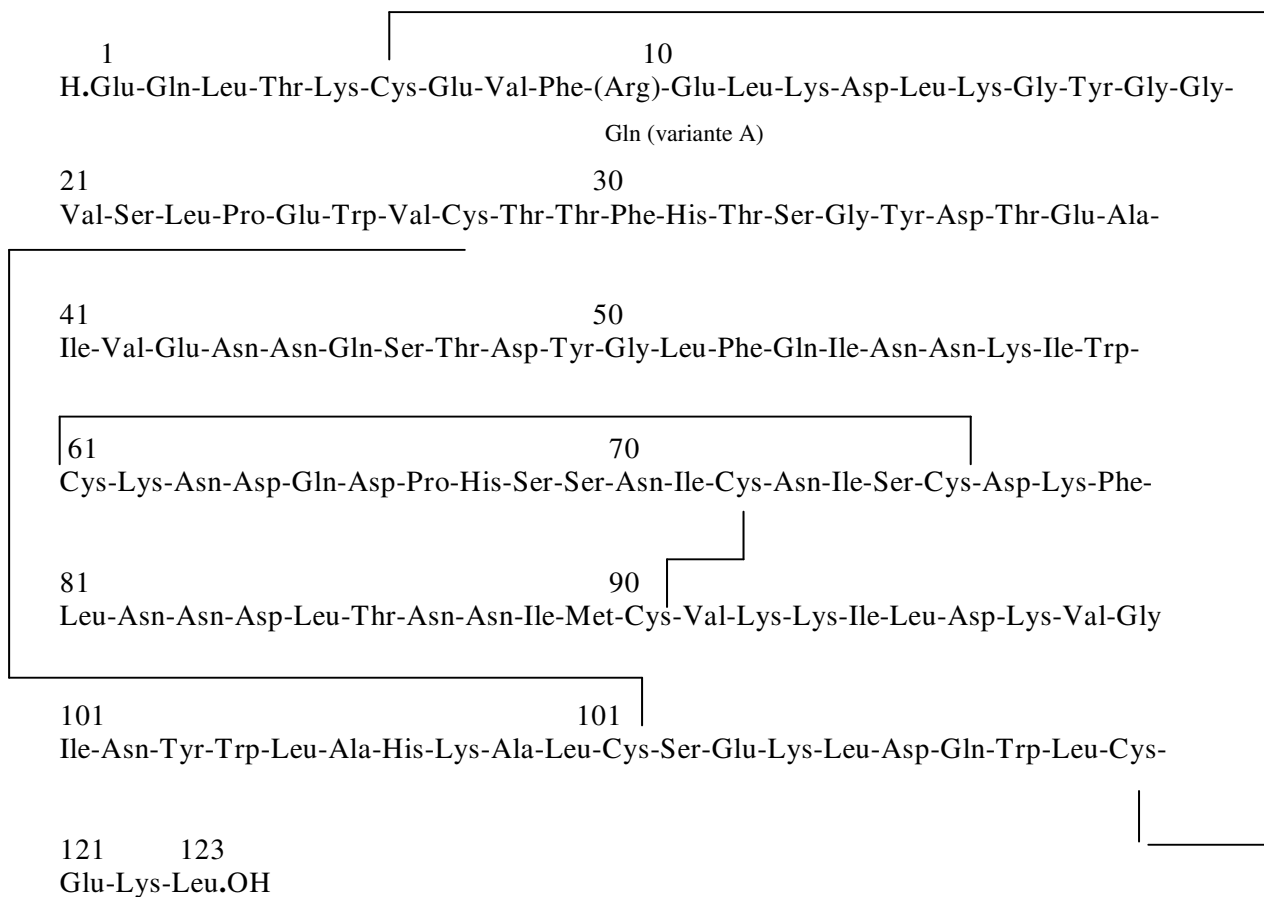


Figura 6. Estrutura primária da α -Lactalbumina B.

Fonte: CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989.

1.1.1.1 Propriedades nutricionais das proteínas de soro

As proteínas do soro de queijo apresentam um excelente perfil de aminoácidos, caracterizando-as como proteínas de alto valor biológico. Também apresentam alto teor de cálcio e de peptídios bioativos do soro. Estudos envolvendo a análise de seus compostos bioativos evidenciam benefícios para a saúde humana,

estudos estes que trazem avaliação das propriedades nutricionais das proteínas do soro, tanto em humanos como em animais (HARAGUCHI, ABREU e DE PAULA, 2006).

A utilização dessas proteínas evidenciam importantes propriedades à saúde com diminuição de risco de doenças infecciosas e também as consideradas crônicas e/ou degenerativas. Influenciam no estímulo ao sistema imunológico, na proteção contra microrganismos patogênicos e contra alguns tipos de vírus como o HIV e o vírus da Hepatite C, na proteção contra vários tipos de câncer, particularmente de cólon, na proteção da mucosa gástrica contra agressão por agentes ulcerogênicos e apresentam ação protetora contra agentes condicionadores de problemas cardiovasculares (SGARBIERI, 2004).

Atletas, praticantes de atividades físicas e pessoas fisicamente ativas vêm procurando benefícios nessa fonte protéica, pois têm influência sobre a hipertrofia muscular, redução de gordura corporal e desempenho físico. Existem diferentes vias pelas quais as proteínas do soro favorecem a hipertrofia muscular e o ganho de força, otimizando, dessa forma, o treinamento e o desempenho físico, uma delas é pelas diferentes velocidades de absorção dessas proteínas. As proteínas do soro são mais rapidamente absorvidas que as caseínas, fazendo com que as concentrações plasmáticas de muitos aminoácidos, inclusive a leucina, atinjam altos valores logo após a sua ingestão. Pode-se, dessa forma, hipotetizar que, se essa ingestão fosse realizada após uma sessão de exercícios, as proteínas do soro seriam mais eficientes de desencadeamento do processo de síntese protéica. As proteínas do soro também favorecem o processo de redução de gordura corporal, por meio de mecanismos associados ao cálcio, pois há uma relação inversa entre a ingestão de cálcio,

proveniente de leite e derivados, e a gordura corporal. Uma provável explicação seria a supressão de hormônios mediada pelo cálcio dietético, auxilia a diminuir a deposição de gordura nos tecidos (HARAGUCHI, ABREU e DE PAULA, 2006).

As proteínas do soro do leite são também usadas em aplicações nutricionais, como fórmulas infantis; na forma de proteínas nativas ou pré-digeridas contribui com o ganho de peso em pacientes pós-cirúrgicos, geriátricos e imobilizados; numa dieta de alimentos de baixa caloria; e na substituição de gordura, ou na formulação de alimentos e bebidas saudáveis (CAPITANI et al., 2005).

1.1.1.2 Funcionalidade das proteínas do soro

As propriedades funcionais das proteínas do soro de queijo são fundamentalmente relatadas pelas suas propriedades físicas, químicas e estruturais. Estas incluem: tamanho, forma, composição e seqüência de aminoácidos, cargas distribuídas, proporção de grupos hidrofílicos/hidrofóbicos, estrutura secundária, terciária e quaternária, ligações intra e intermoleculares, e a flexibilidade da proteína em resposta a condições externas (JOVANOVIC, BARAC E MACEJ, 2005).

Estas proteínas são conhecidas pela versatilidade de suas propriedades funcionais tecnológicas como ingredientes em produtos alimentícios, principalmente por sua elevada solubilidade e capacidade de gelificação (CAPITANI et al., 2005), pois as proteínas globulares são altamente susceptíveis a trocas conformacionais (desnaturação) e agregação em trocas de pH, força iônica ou temperatura (SURH; WARD; McCLMENTS, 2006). Outro aspecto importante das proteínas do soro é o

uso como emulsificantes e agente formador de espuma (FOEGEDING et al., 2002; JOVANOVIĆ, BARAC E MACEJ, 2005).

1.2 Produção de géis lácteos

A estrutura essencial da matriz do queijo é formada por caseínas, 80% das proteínas do leite, que é a base para a massa da coalhada, o restante das proteínas, detém 20% e são as proteínas solúveis, que estão presentes no soro de queijo (FENNEMA, 2000).

Proteínas do leite são delicadas estruturas, mantidas por interações dentro da cadeia de proteína determinada pela seqüência de aminoácidos, e pelas interações com o solvente. Trocas em fatores externos, podem perturbar o balanço entre as interações entre as proteínas inter-moleculares e o solvente, o qual pode conduzir ao desdobramento/desnaturação da cadeia de polipeptídeo, modificando as propriedades tecnológicas (PANDEY, RAMASWAMY e ST-GELAIS, 2000). As micelas de caseína do leite podem sofrer perturbações que afetam sua estabilidade, permitindo a ocorrência de agregação e a formação do gel lácteo, que é a base para a produção de queijos. Duas importantes reações são usadas para desestabilizar o leite: enzimática e ácida (HUI, 1993; VLIET, LAKEMOND e VISSCHERS, 2004).

1.2.1 Coagulação enzimática do leite

A enzima proteolítica (coalho)   adicionada ao leite para hidrolisar a κ -caseína, especificamente na ligação peptídica Fenilalanina₁₀₅-Metionina₁₀₆, formando um domínio hidrofóbico (para- κ -caseína – resíduos 1-105) não solúvel e um domínio

polar (caseinomacropeptídeomacropeptídeo – CMP – resíduos 106-169) solúvel. O domínio hidrofóbico de κ -caseína interage com domínios similares de outras caseínas, causando a desestabilização das forças eletrostáticas e a subsequente agregação das micelas de caseína. As quais perdem seu caráter hidrofílico e observa-se o aparecimento de interações iônicas entre as micelas agregadas devido ao estabelecimento de ligações fosfocálcicas e de ligações entre as caseínas (CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989; FOX e McWEENEY, 1998 e SGARBIERI, 2005).

Segundo KARLSSON, IPSEN, ARDO (2007), a coagulação induzida por renina pode constituir três fases: hidrólise enzimática da κ -caseína, agregação das micelas de caseínas coaguladas e desenvolvimento do gel. Mas a maioria dos autores relata que a coagulação ocorre em duas fases: a fase primária, que quando há a remoção do caseinomacropeptídeo (CMP) da superfície das micelas, reduzindo o potencial zeta de -20 para -10mV e removendo a estabilidade estérica da camada da superfície. E a fase secundária ocorre quando cerca de 85-90% da κ -caseína é hidrolisada, a floculação micelar, pode ser visualizada por trocas nas propriedades macroscópicas do leite. Então, ligações cruzadas são progressivamente formadas entre cadeias de micelas floculadas para formar um gel final (CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989; HUI, 1993; FOX e McWEENEY, 1998; FENNEMA, 2000; LAGAUDE et al., 2004; BÖNISCH, HEIDEBACH, KULOZIK, 2008).

As características do gel enzimático, tais como capacidade de retenção de água e força, são importantes no processo de elaboração de queijos, pois afetam parâmetros como o rendimento, conteúdo de umidade e textura do produto (PANDEY, RAMASWAMY e St-GELAIS, 2000).

1.2.2 Coagulação ácida do leite

Na reação ácida, o pH do leite é diminuído até o ponto isoelétrico das caseínas (pH 4,5-4,8) precipitando-as. A queda do pH provoca a diminuição das cargas negativas da micela, assim como sua capacidade de hidratação, um número cada vez maior de cargas se neutralizando intra e intermoleculares, formando assim enormes complexos eletrostáticos, excluindo a água do microambiente molecular e eliminando gradativamente pontes de H dos grupos polares que vão sendo neutralizados. Quando o número possível de cargas positivas e negativas atingir o máximo, a carga líquida da proteína será zero, neste ponto a solubilidade é mínima (pH = pI), ocasionando a desmineralização da micela, ocorrendo perda de cálcio das micelas de caseínas (CHEFTEL, CUQ e LORIENT, 1989; AICHINGER et al., 2003; PERRY, 2004; ALEXANDER, DALGLEISH, 2004; DALGLEISH et al., 2005).

Banon e Hardy (1992), avaliaram a acidificação de leite por Glucona-Delta-Lactona, e afirmaram que o processo de acidificação ocorre em três fases principais: primeiro há a desorganização da camada micelar; seguida da agregação das partículas de caseínas desestabilizadas e finalmente a formação do gel.

1.3 Soro de leite líquido

O soro de leite pode ser obtido por três processos principais: a) pelo processo de coagulação enzimática (enzima renina), resultando no soro “doce”; b) precipitação ácida no pH isoelétrico (pI), resultando no soro ácido; c) separação física

das micelas de caseína por microfiltração, obtendo-se um concentrado de micelas e as proteínas do soro, na forma de concentrado ou isolado protéico (SGARBIERI, 2004).

A produção de queijo consome 33% de todo o leite inspecionado no país, sendo, portanto, o principal derivado resultante da industrialização do leite no Brasil (EMBRAPA, 2007). Para cada Kg de queijo, cerca de 9 Kg de soro são gerados, tendo uma estimativa de produção mundial de 145 bilhões de kg por ano, a questão é transformar este produto secundário de um problema em uma oportunidade nacional (COZZOLINO et al., 2003; SILVA e BOLINI, 2006). A composição físico-química dos soros doce e ácido, é apresentada na Tabela 1 (ANTUNES, 2003).

Tabela 1. Composição físico-química variável do soro doce e ácido.

Componentes	Soro Doce (%)	Soro Ácido (%)
Sólidos totais	6,2	6,4
Proteína	0,8	0,75
Gordura	0,5	0,04
Lactose	4,6	4,2
Cinza	0,5	0,8
Ácido láctico	0,05	0,4

Fonte: ANTUNES, 2003.

Da produção mundial de soro, 45% tem sido relatado por ser usado em países da Europa diretamente na forma líquida, 30% na forma de pó ou na produção de queijos de soro, 15% como lactose e produtos deslactosado e o restante como concentrado protéico (COZZOLINO et al., 2003; CHRISTIANSEN et al., 2006; SILVA e BOLINI, 2006). Proteínas de soro são incorporadas na matriz de queijos, a

fim de melhorar seu valor nutricional assim como a efetividade econômica da produção queijeira. Estas proteínas podem ser incorporadas aos queijos na forma nativa e no estado desnaturado (HINRICHS, 2001; COZZOLINO et al., 2003). As proteínas de soro são utilizadas como ingredientes na indústria alimentícia com uma variedade de aplicações: bebidas lácteas (CUNHA et al., 2008), queijos (COZZOLINO et al., 2003; PRUDÊNCIO, 2006), iogurtes (MAGENIS et al., 2005; GAUCHE, 2007), sorvetes e sobremesas lácteas (FOEGEDING, et al., 2002) e para obtenção de extrato hidrossolúvel de soja (PRUDÊNCIO e BENEDET, 1999), entre outras aplicações pelas inúmeras funcionalidades dessas proteínas. Cada aplicação requer uma ou várias propriedades funcionais como geleificação, estabilidade térmica, formação de espuma, emulsificação, aumento de viscosidade, além de seu alto valor nutricional (FOEGEDING, et al., 2002; ANTUNES, MOTTA e ANTUNES, 2003; EISSA e KHAN, 2005).

1.4 Queijos

Queijos de soro são considerados queijos frescos, pois são produtos que devem ser consumidos imediatamente após a elaboração, pois possuem limitada vida-de-prateleira em refrigeração (HINRICHS et al., 2004; CARVALHO, VIOTTO e KUAYE, 2007). Os queijos de soro são fabricados em todo o mundo, usualmente de acordo com protocolos tradicionais e em pequena escala, via desnaturação das proteínas do soro de queijo (as quais também se associam aos glóbulos de gordura residuais). Estes queijos recebem diferentes nomes dependendo do país e região de origem (PINTADO, MACEDO e MALCATA, 2001). A composição de proteínas em queijos frescos compreende as caseínas e proteínas de soro, dependendo da forma de elaboração. Geralmente o conteúdo de caseínas é o principal componente, mas o

rendimento dos queijos aumenta quando as proteínas de soro são rearranjadas pelo tratamento térmico do leite (desnaturação das proteínas) ou adicionadas no processo (HINRICHS et al., 2004; CARVALHO, VIOTTO e KUAYE, 2007). Como no caso da fabricação de queijo com leite ultrafiltrado, por exemplo, é reintegrar proteínas do soro nos queijos para aumentar o rendimento do produto (ATRA et al., 2005). As proteínas do soro são reintegradas com altas temperaturas interagindo com as caseínas. Além de aumentar o rendimento do queijo, aumentar o valor nutricional, também se produz queijos com baixo teor de gordura, e o desafio é utilizar o processo tradicional de queijos, para aumentar a cremosidade e maciez desses produtos utilizando para isso o soro de queijo (HINRICHS, 2001).

A ricota é um queijo obtido do soro de queijo, de origem italiana, que é fabricado em diversos países sob várias denominações. É obtida por meio da acidificação do soro, adicionado ou não de 20% de leite, seguido de aquecimento a aproximadamente 92°C. É considerado um queijo fresco por sua pouca durabilidade (PERRY, 2004; RIBEIRO et al., 2005). É um queijo branco, macio e com alta umidade, cerca de 74% (PINTADO, MACEDO e MALCATA, 2001). Pode-se utilizar a ricota como ingrediente, pois possui baixo teor de gordura do leite e é conveniente para a preparação de alimentos com conteúdo de gordura reduzido. Apesar de apresentar excelentes características em termos de funcionalidade, podendo ser utilizada na preparação de vários tipos de queijos cremosos (MODLER e EMMONS, 2001).

Queijos cremosos podem ser produzidos com diferentes queijos, fundidos com sais, podem conter leite, soro, manteiga, creme, albumina, gomas, caseína, caseinato e gorduras vegetais (MIRALLES et al., 2006). O processamento de queijos

cremosos ou processados requerem agitação e aquecimento da mistura de ingredientes (coalhada, creme, etc) na presença de sais fundentes (DIMITRELI e THOMAREIS, 2004). O tradicional queijo cremoso, ou *cream cheese*, foi desenvolvido nos Estados Unidos em 1927 e, desde então, tem ocupado lugar de destaque. É um queijo homogeneizado, de consistência muito fina e untuosa (ALBUQUERQUE et al., 1994).

As principais razões para produzir um queijo cremoso ou patê são (GUNASEKARAN e AK, 2003): longa vida de prateleira que se deve ao tratamento térmico; ampla variedade que se deve ao uso de múltiplos ingredientes e formulações; eficiente utilização que se deve às características de consistência; reutilização de queijos com defeitos físicos ou que estejam no limite da vida-de-prateleira. Assim como o requeijão, pode pertencer à classe de queijos processados ou fundidos, cuja consistência permite que possa ser espalhado com uma faca à temperatura ambiente. Esta característica de consistência por ser devida à ausência de uma matriz protéica rígida como resultado da forte agitação e homogeneização durante o processamento pelo tratamento mecânico. Este tratamento mecânico é necessário para a hidratação das proteínas que, juntamente com o tratamento térmico, tipo de coalhada, conteúdo de gordura e sais fundentes, pH e tempo de cozimento da massa determinarão a textura do produto final, que é reconhecida como um de seus principais atributos de qualidade (BARONI et al., 1999).

A fusão dos grânulos do gel lácteo é um passo essencial no desenvolvimento da textura do queijo cremoso durante sua elaboração. A fusão é o resultado de dois processos: 1) o fluxo dos grânulos (deformação) resultando na grande área de contato

entre eles e 2) a formação de ligações entre grânulos adjacentes (LODAITÉ et al., 2002).

Quanto ao tratamento térmico, várias reações podem ocorrer como: a desnaturação e agregação das proteínas do soro, e a formação de complexos entre essas proteínas e as caseínas. Mas além da interação proteína-proteína, há também a interação das proteínas do soro com os glóbulos de gordura. O complexo formado entre proteínas de soro e as micelas de caseína é estabelecido principalmente pelos grupos sulfidrilas livres na estrutura nativa da β -Lg. A principal interação que se forma durante o tratamento térmico é entre β -Lg/ κ -caseína, havendo também a participação da α -La nesta interação, sendo que a temperatura mais favorável para que isto ocorra é entre 75 e 90°C (CORREDIG e DALGLEISH, 1999; SING e WAUNGANA, 2001; EISSA e KHAN, 2005).

1.5 Sinerese

A expulsão de soro de um gel lácteo (sinerese) é causada pela contração do gel lácteo devido ao rearranjo de ligações entre agregados de proteína. Sinerese ocorre espontaneamente mas pode também ser devido a forças externas. A pressão endógena contraindo o gel lácteo é pequena, em torno de 1 Pa (GRUNDELIUS et al., 2000). Devido a forças da gravidade e outros fenômenos que abrangem as forças das interpartículas, dispersões coloidais tem a tendência de separar as fases resultando em um sistema não homogêneo (FAERS, et al., 2006). A sinerese pode ser provocada pela baixa acidez ($\text{pH} \geq 4,6$), pelo baixo teor de sólidos totais, pela alta temperatura de incubação do produto, entre outros fatores (LUCY, 2002). Em diferentes tipos de géis a susceptibilidade da sinerese é associada também a uma longa vida-de-

prateleira, resultado da baixa habilidade da rede do gel de incorporar todo o soro (LUCEY, 2001).

Em produtos derivados de leite, o rearranjo das micelas de caseína durante o processo de sinerese é responsável pela contração da matriz de caseína e subsequente expulsão de soro do gel lácteo. Quantificando esta expulsão de soro, através do uso de forças externas, pode-se determinar o índice de sinerese, o qual impacta no teor de umidade, e conseqüentemente na textura e qualidade do produto (CASTILLO et al., 2006). A liberação do soro durante o armazenamento de um gel lácteo representa aos consumidores um defeito do produto (LUCEY, 2001; AICHINGER et al., 2003; TIJSKENS e DE BAERDEMAEKER, 2004).

1.6 Polissacarídeos

Polissacarídeos são usados em produtos lácteos para obter as propriedades de textura desejadas (VEGA e GOFF, 2005; MARUYAMA et al., 2006). O mecanismo de homogeneização aplicado para obter o padrão e produtos com ausência ou diminuição do teor de gordura, possuem habilidade de controlar as características reológicas de sistemas aquosos por meio de estabilização de emulsões, suspensão de partículas, controle de cristalização, induzindo a formação de produtos consistentes e limitando a ocorrência de sinerese (SANCHEZ et al., 2000; ZAMBRANO et al., 2005).

A goma locusta é extraída do endosperma de sementes de uma leguminosa da subfamília Caesalpinioideae (*Ceratonia siliqua*), cultivada ao longo da costa do Mediterrâneo, também chamada de goma alfarroba e jataí (FENNEMA, 2000).

Isoladamente não forma gel, mas pode fazê-lo juntamente com xantana e κ -carragena. Atua como espessante, estabilizante de emulsões e inibidor de sinerese e também apresenta estabilidade na faixa de pH de 3,5 a 11,0 (GRANADA et al., 2005). É uma galactomana (manose e galactose relação 4:1). A sua estrutura permite associações intercadeia conduzindo a formação de agregados pseudocristalinos, que impedem a penetração da água. A goma locusta é insolúvel em água fria mas se aquecida pode ser dissolvida. Desenvolve máxima viscosidade quando a goma é aquecida à cerca de 95°C e então resfriada (FENNEMA, 2000; PHILLIPS e WILLIANS, 2000).

A goma guar é extraída do endosperma da semente de *Cyamopsis tetragonolobus*, que pertence à família das leguminosas (FENNEMA, 2000). É uma galactomanana (manose e galactose relação de 2:1) e sua massa molar é aproximadamente 220000 Da (PHILLIPS e WILLIANS, 2000; MUNHOZ, WEBER e CHANG, 2004). Possui alta capacidade de retenção de água, estabiliza suspensões e é bastante empregada em produtos lácteos (MARUYAMA, 2006). Essa goma forma dispersões coloidais quando hidratada em água fria

Como a relação de manose/galactose é menor do que a locusta, a guar é mais solúvel e hidrata completamente em água gelada, produzindo alta viscosidade. Sua estrutura então facilita a penetração de água entre as unidades monoméricas. Esta goma não forma gel, é compatível com outras gomas, amidos e agentes geleificantes (naturais e sintéticos). Interage sinergicamente com a goma xantana dando um aumento na viscosidade da solução. A goma não é desfavoravelmente afetada pelos baixos valores de pH e é efetiva em produtos ácidos, é bastante empregada em produtos lácteos (TONELLI, MURR e PARK, 2005).

A goma xantana é amplamente utilizada na indústria de alimentos devido às suas propriedades de emulsificação, suspensão e estabilização e mantém estas características em uma ampla faixa de pH, temperatura e força iônica. Associada à outras gomas, como a locusta, proporciona textura lisa e cremosa a alimentos líquidos, com qualidade superior a outros espessantes; também apresenta, como vantagem, um baixo valor calórico (0,5 kcal/g), porque somente 15% desta goma é digerida pelos processos metabólicos no organismo humano (GRANADA et al., 2005).

A xantana é um polissacarídeo extracelular produzida pela bactéria *Xanthomonas campestris*. É constituída de uma cadeia principal de unidades de D-glucose unidas entre si por ligações β (1 \rightarrow 4) com resíduos alternados de D-manose e ácido D-glicurônico, na proporção molar de 2:1, formando a cadeia lateral (ANTUNES et al., 2003; MUNHOZ, WEBER e CHANG, 2004). As moléculas de goma xantana que adotam uma conformação helicoidal (simples ou dupla-hélice) podem ser descritas como rígidas sem tendência para associar-se, comportando-se como um espessante. A xantana é solúvel em água quente e fria (BRYANT e McCLEMENTS, 2000; CASAS; MODHEDANO e GARCIA-OCHOA, 2000). Embora não seja um agente de geleificação, a goma xantana pode formar gel elástico e termorreversível quando combinado com a goma locusta. A presença das cadeias laterais e o caráter iônico nas moléculas de xantana aumentam a sua hidratação (TONELLI, MURR e PARK, 2005).

1.7 Transglutaminase

Largamente distribuída na natureza, é encontrada no fígado, sangue e tecidos em geral de origem animal (mamíferos), relacionada à coagulação sanguínea em humanos (conhecida como Fator XIII). Também é muito encontrada em músculos de peixes e pode estar em microrganismos e plantas (JAROS et al., 2006; CHRISTENSEN et al., 1996). As pesquisas com aplicações da transglutaminase começaram sendo extraída de mamíferos, geralmente do plasma bovino e/ou fígado de porco (transglutaminase endógena), sendo extremamente cara e inviável quando se eleva à escala industrial. A transglutaminase de origem microbiana (EC 2.3.2.13), isolada de microrganismos da família *Streptoverticillium* (*S. marabaense*, S-8112), produzida em grande escala por fermentação em 1989 (DE JONG e KOPPELMAN, 2002), consiste de 331 aminoácidos em uma única cadeia polipeptídica e contém um resíduo de cisteína com um grupo tiol livre, que é essencial para a atividade enzimática, possui um peso molecular de aproximadamente 37,9 kDa, apresenta um ponto isoelétrico de 8,8, sendo considerada estável sob uma ampla faixa de pH. O sítio catalítico da transglutaminase microbiana possui um resíduo de cisteína, pode estar formada por 11 α -hélices e 8 folhas- β , que rodeiam este resíduo além da presença do ácido aspártico, importante para a formação do sítio ativo juntamente com a cisteína (KANAJI et al., 1993; KASHIWAGI et al., 2002).

A transglutaminase de origem endógena e microbiana não têm demonstrado diferença na ação e conseqüente efeito quando aplicada nos alimentos. Porém, a transglutaminase endógena é dependente de cálcio (Ca^{2+}) para ocorrer sua ação, diferentemente da transglutaminase microbiana, que não depende deste íon como

precursor, por essa razão, é facilmente aplicável na indústria de alimentos, não sendo este um fator limitante (JAROS et al., 2006; KASHIWAGI, et al., 2002).

A transglutaminase pode basicamente ser a responsável por três reações, conforme a Figura 7. A catálise da reação de transferência de radicais acila, pelo deslocamento dos grupos γ -carboxiamida dos resíduos glutamínicos ligados em proteínas (doador de acila), disponibilizando lisina às mesmas. Essa reação pode ser usada para introduzir lisina às proteínas, melhorando assim o desempenho das proteínas (melhoramento nutricional) (JAROS et al., 2006; O'SULLIVAN et al., 2002). A reação dos grupos ϵ -amínicos dos resíduos de lisina, formando ligações cruzadas ϵ -(γ -glutamina)lisina inter e intramoleculares das proteínas presentes no meio, resultando em modificações nas propriedades físicas dos alimentos (CHRISTENSEN et al., 1996 KASHIWAGI et al., 2002; DE JONG e KOPPELMAN, 2002). Com a utilização das aminas primárias, a água presente no meio participa da reação, como receptora de grupos acila, e os grupos γ -carboxiamida dos resíduos glutamínicos são desaminados, tornando-se resíduos de ácido glutâmico (JAROS et al., 2006; O'SULLIVAN et al., 2002; ANDO et al., 1989).

As estruturas das transglutaminases de várias fontes são amplamente diferentes no que diz respeito a massa molar, seqüência de aminoácidos e conformação, porém as estruturas secundária que arranja-se em torno do sítio ativo são muito similares. A Figura 8 mostra as estruturas dos sítios ativos da TG microbiana e da TG Fator XIII, sendo que a TG Fator XIII possui uma tríade catalítica que consiste em uma cisteína²⁷², uma histidina³³² e um resíduo de ácido aspártico³⁵⁵. O sítio ativo está localizado próximo a porção N-terminal de uma α -

hélice, a qual rodeada por umas 4 folhas β . Na TG microbiana, cisteína⁶⁴, ácido aspártico²⁵⁵ e histidina²⁷⁴, ocupam as correspondentes posições (KASHIWAGI et al., 2002).

O resíduo de histidina²⁷⁴, no mecanismo catalítico pode ter um efeito positivo e um negativo efeito. De uma maneira, a conformação preferível do sítio ativo é mantida por formar uma ligação de hidrogênio entre histidina²⁷⁴ e ácido aspártico²⁵⁵. De outra maneira, esta ligação de hidrogênio parece diminuir a nucleofilidade do ácido aspártico²⁵⁵, conduzindo a uma redução da eficiência catalítica (JAROS et al., 2006). Kashiwagi et al. (2002) sugeriram que histidina²⁷⁴ não é essencial para o mecanismo catalítico.

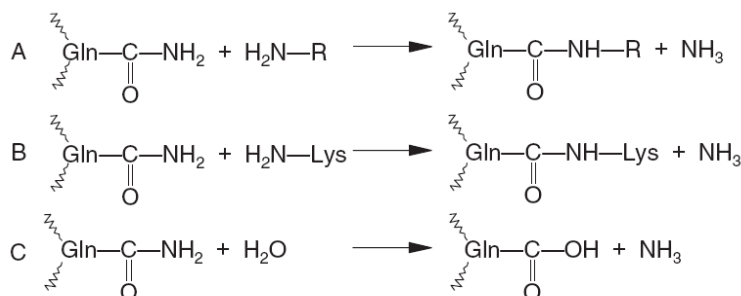


Figura 7. Reações catalizadas pela transglutaminase. A) Reação de transferência de radicais acila. B) Reação de ligação cruzada. C) Reação de desamidação.
Fonte: JAROS et al., 2006.

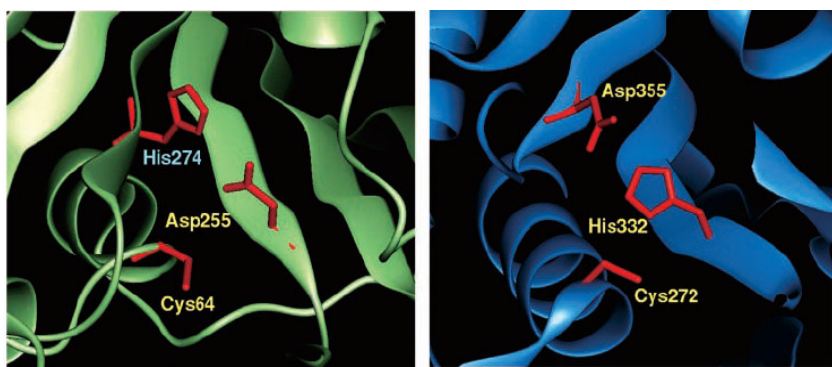


Figura 8. Estruturas dos sítios ativos da TG microbiana (esquerda) e da TG Fator XIII (direita).
Fonte: KASHIWAGI, 2002.

1.7.1 Transglutaminase em produtos lácteos

Considerando as proteínas do leite, as caseínas são particularmente excelentes substratos devido ao seu baixo nível de estruturas terciárias, tornando a proteína facilmente acessível (HUPPERTZ e KRUIF, 2007; BÖNISCH et al., 2007a). As caseínas reagem diferentemente com a transglutaminase, no entanto, β - e κ -caseínas apresentam alta reatividade comparadas com a α -caseína (SCHORSCH et al., 2000). Em contraste, as proteínas do soro, com a estrutura globular (estado nativo), são, por comparação, pouco propensas a reação de ligação cruzada, principalmente devido a estabilização da conformação globular pelas ligações dissulfídicas limitando a susceptibilidade dos sítios de ligação cruzada (BÖNISCH et al., 2007b). No entanto, as ligações cruzadas de proteínas do soro podem ser melhoradas por uma prévia desnaturação através de tratamento térmico (BÖNISCH et al., 2007a; GAUCHE, 2007). De acordo com Huppertz e Kruif (2007), a incubação com transglutaminase a 30°C progressivamente reduziu os níveis de monômeros de caseínas, em géis lácteos obtidos por coagulação enzimática.

O uso desta enzima nos alimentos proporciona alterações nas propriedades físicas dos mesmos, como por exemplo: capacidade de geleificação, força do gel, viscosidade, estabilidade térmica e capacidade de retenção de água (FARNSWORTH et al., 2006; DE JONG e KOPPELMAN, 2002; KURAISHI, YAMAZAKI e SUSA, 2001). Outro efeito da transglutaminase é na reestruturação de alimentos, promovendo grande capacidade de melhorar as propriedades físicas destes, tendo assim, aumentando consideravelmente a qualidade e conseqüentemente o valor agregado dos

produtos nos quais é empregada, com a possibilidade de inovação no mercado (DE JONG e KOPPELMAN, 2002; KIM et al., 1993).

Sharma, Lorenzen e Qvist (2001), avaliaram a influência do tratamento com a transglutaminase em leite desnatado, e observaram ocorrência do dipeptídeo ϵ -(γ -glutamina)lisina após 30 minutos de reação, havendo a formação de ligações cruzadas por desamidação e/ou incorporação de amina. Os resultados de eletroforese SDS e eletroforese capilar demonstraram redução nos monômeros de κ - e β -caseínas, devido a reação com a transglutaminase, pois essas duas proteínas são as mais susceptíveis a ligação cruzada. Em relação à polimerização das proteínas do soro, esta foi avaliada por eletroforese capilar após o aquecimento do leite (85°C, 15 minutos), os resultados mostraram que a α -lactalbumina reage tanto no leite aquecido como no leite que não sofre o processo de pré-aquecimento. Enquanto a β -Lactoglobulina apresenta reação com transglutaminase somente quando o leite é submetido ao tratamento térmico.

1.8 Reologia

Para caracterizar reologicamente o comportamento dos materiais é importante detalhar alguns termos. Inicialmente definiu-se a tensão cisalhante aplicada a um fluido (τ), que é a relação entre uma determinada força cisalhante (F), aplicada a um fluido, e a área (A) de atuação dessa força, expressa pela expressão (STEFFE, 1996; GUNASEKARAN e AK, 2003)(Eq. 1):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. 1}$$

A tensão de cisalhamento (τ) impõe uma deformação (γ) ao fluido, a qual pode variar no sentido transversal da força (F) (GUNASEKARAN e AK, 2003).

A variação da deformação em função do tempo é definida como sendo taxa de deformação ou taxa de cisalhamento do fluido ($\dot{\gamma}$), que é representada como sendo o gradiente de velocidade das partículas fluidas em relação a distância transversal de aplicação da força (F), descrito pela equação (STEFFE, 1996)(Eq. 2):

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad \text{Eq. 2}$$

Para um fluido ideal, a deformação é proporcional à taxa de cisalhamento, cujo comportamento modela-se pela expressão (SCHRAMM, 1998)(Eq. 3):

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \text{Eq. 3}$$

O coeficiente η na Equação 3 denota a resistência do material ao escoamento, ou seja, a sua viscosidade. O valor da viscosidade dinâmica (ou viscosidade absoluta) é obtido dividindo-se a tensão pela deformação. Para aumentarmos o grau de deformação de um certo fluido é necessário aumentarmos a força aplicada. Assim, ao compararmos dois fluidos diferentes, cisalhados com a mesma força, sob as mesmas condições, verificaremos que aquele com viscosidade mais elevada apresentará menor grau de deformação (STEFFE, 1996; SCHRAMM, 1998).

Dados de viscosidade são derivados de medidas de simples pontos. Sendo que cada medida fornece uma informação sobre o comportamento do fluido (dependência da taxa de cisalhamento). A viscosidade de um fluido pode ser

aumentada de forma linear ou não-linear com uma transição de maneira Newtoniana a Não-Newtoniana, à medida que os sólidos totais vão aumentando (PATOCKA et al., 2006).

1.8.1 Modelos reológicos

Os diversos tipos de fluxo para fluidos não-newtonianos podem ser descritos por diversos modelos matemáticos, destacamos o de Bingham, Lei de Potência, Casson e Herschel-Bulkley. O modelo de Bingham é definido pela equação 4 (TONELLI, MURR e PARK, 2005; MACHADO, 2002):

$$\sigma = \sigma_0 + \eta_{pl} \dot{\gamma} \quad \text{Eq.4}$$

onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação s^{-1} , η_{pl} é a viscosidade plástica (Pa.s) e σ_0 é o limite de escoamento (Pa). Um bom exemplo para os fluidos que apresentam comportamento segundo Bingham são as suspensões diluídas de sólido em líquido em geral. De acordo com a teoria molecular-coloidal, o atrito entre as partículas dispersas e entre as próprias moléculas do líquido dispersante é o responsável por um dos componentes da resistência ao escoamento – a viscosidade plástica.

O modelo da Lei de Potência descreve um fluido Não-Newtoniano através da equação 5 (TONELLI, MURR e PARK, 2005; MACHADO, 2002; PENNA, SIVIERI e OLIVEIRA, 2001):

$$\sigma = K (\dot{\gamma})^n \quad \text{Eq.5}$$

onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), K é o índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento de fluxo. O significado do índice de comportamento de fluxo, n , está relacionado ao afastamento do fluido do modelo newtoniano. Se o seu valor se aproxima de um, então o fluido está próximo do comportamento newtoniano. Quando $n < 1$ o fluido é pseudoplástico e quando $n > 1$ o fluido é dilatante (RAO, 1999).

O modelo de Casson descreve fluidos não-newtonianos através da equação 6 (LANNES, MEDEIROS e AMARAL, 2002; MACHADO, 2002; RAO, 1999; SCHRAMM, 1998):

$$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + \eta_\infty^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad \text{Eq.6}$$

Sendo: σ é a tensão de cisalhamento (Pa), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}), η_∞ é a viscosidade plástica de Casson ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) e τ_0 é a tensão inicial (Pa), ou tensão residual, que pode ser definida como a tensão de cisalhamento mínima para o fluido escoar. E o modelo de Herschel-Bulkley é definido através da equação 7 (STEFFE, 1996; RAO, 1999; TONELLI, MURR e PARK, 2005):

$$\sigma - \sigma_0 = K \dot{\gamma}^n \quad \text{Eq.7}$$

Sendo: σ é a tensão de cisalhamento (Pa), σ_0 é a tensão de cisalhamento inicial (Pa), K é o índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n é o índice do comportamento de fluxo (adimensional) e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}). Este tipo de fluido é uma extensão do fluido da Lei de Potência, ao qual se adicionou um novo parâmetro, σ_0 , limite de escoamento (LEWIS, 1993; STEFFE, 1996; MACHADO, 2002; PEREIRA,

QUEIROZ e FIGUEIREDO, 2003; BRANCO e GASPARETTO, 2005; TORALLES, VENDRUSCOLO e VENDRUSCOLO, 2006).

Alimentos que exibem comportamento pseudoplástico dependente de tempo apresentam comportamento de fluxo tixotrópico ou reopético. A maioria dos alimentos que exibe este comportamento são sistemas heterogêneos em que suas moléculas são mantidas unidas por interações fracas. Quando as forças hidrodinâmicas durante o cisalhamento são suficientemente grandes, as ligações interpartículas são rompidas, resultando na diminuição do tamanho das unidades estruturais que, por sua vez, oferece menor resistência ao fluxo durante o cisalhamento (RAO, 1999).

Os modelos empregados para descrever o comportamento tixotrópico dos alimentos são baseados em equações empíricas, como o modelo de Weltmann (equação 8), que define os parâmetros a uma taxa de deformação constante, por um período de tempo, até atingir o equilíbrio (WELTMANN, 1943).

$$\sigma = A + B \log t \quad \text{Eq.8}$$

Sendo: σ – tensão de cisalhamento (Pa), A – tensão inicial requerida (Pa), B – coeficiente de ruptura tixotrópica, t – tempo (s).

1.8.2 Comportamento reológico de produtos lácteos

Segundo DIMITRELI e THOMAREIS (2004), que avaliaram a influência da temperatura durante a fusão de queijo Gouda, para a obtenção de queijos processados (cremoso), e verificaram que este tipo de queijo possui comportamento pseudoplástico, pode-se dizer que a deformação e aquecimento são processos

aplicados durante diferentes estágios do processamento desses queijos, sabendo-se que a viscosidade é necessária para modelar e otimizar as operações tecnológicas. Além disso, medir a viscosidade de queijo processado no produto final podem também caracterizar sua fusão, uma das mais importantes propriedades físicas para o uso em diversos pratos culinários.

De acordo com DIMITRELI e THOMAREIS (2007), os fatores que mais afetam a viscosidade de queijos processados são, o tipo de gel lácteo e/ou queijo, sais fundentes, temperatura, agitação, adição de ingredientes lácteos e não lácteos. Além dos fatores com a composição química, como teor de umidade e sólidos totais, observados por LEE, ANEMA e KLOSTERMEYER (2004), que observaram a influência do teor de umidade nas propriedades reológicas de queijos processados.

A influência das gomas interagindo com as proteínas foi avaliada em leites demonstrando que este polissacarídeo é eficiente em termos de solubilidade, além de contribuir para o atraso da sedimentação de sólidos e a separação de creme. A adição de guar, aumenta a viscosidade sem tornar o produto desagradável ao paladar (LAL, O'CONNOR e EYERS, 2006).

Em lácteos cremosos, a viscosidade intrínseca e as viscosidades com baixo e alto cisalhamento foram utilizadas para avaliar o efeito da mistura de goma locusta e carragena nos parâmetros reológicos dos cremes, correlacionando esses parâmetros com a concentração de cada uma das gomas. Sendo que os cremes com os valores de viscosidades determinados apresentaram comportamento Newtoniano. Onde fortes interações entre carragena com proteínas do creme puderam ser pontuadas, as quais aumentaram a viscosidade, independente da concentração de locusta. O papel

funcional da locusta pode ser associado com um aumento na estabilidade ao cisalhamento da emulsão quando uma pequena proporção desta goma no sistema (CAMACHO, MARTÍNEZ-NAVARRETE e CHIRALT, 2005).

KARLSSON, IPSEN e ARDÖ. (2007), estudaram as propriedades reológicas e microestruturas de géis enzimáticos de leites concentrados e não concentrados por ultrafiltração, durante a coagulação e a evolução da sinerese, e observaram que com o passar do tempo as amostras não concentradas apresentaram áreas não protéicas mais amplas, caracterizando maior sinerese, correlacionado com os valores obtidos na reologia. LUCEY (2002) observou que géis ácidos apresentam maior sinerese e conseqüentemente menor viscosidade, do que géis enzimáticos.

No estudo da reologia de produtos lácteos, o modelo lei de Potência é freqüentemente aplicado para descrever as propriedades de fluxo de iogurtes (ABU-JDAYIL e MOHAMEED, 2002; MAGENIS et al., 2005; GAUCHE, 2007;), de bebidas lácteas (PENNA, SIVIERI e OLIVEIRA, 2001; CUNHA et al., 2008) e de queijo processado (DIMITRELI e THOMAREIS, 2004; LEE, ANEMA e KLOSTERMEYER, 2004).

Segundo SCHORSCH et al. (2000), a ligação de proteínas com a transglutaminase afeta a microestrutura do sistema, mostrando a presença de pequenos agregados unidos, que permanecem intactos em condições de estocagem e impedem que a água saia da estrutura do gel. IMM et al (2000) observaram que géis tratados com TG apresentaram um rede protéica mais densa e ordenada, com maior dureza.

1.9 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-Page)

Eletroforese é um método onde moléculas carregadas em solução, normalmente proteínas e ácidos nucleicos, migram sob influência de um campo elétrico. Sua razão de migração através do campo elétrico depende da força do campo, da carga da rede, do tamanho e forma das moléculas, da força iônica, viscosidade e temperatura do meio (PATEL, 1994).

Os géis de poliacrilamida (SDS-Page) são meios de sustentação escolhidos para eletroforese porque são quimicamente inertes, sendo formados prontamente pela polimerização da acrilamida. Além disso, o tamanho de seus poros pode ser controlado pela escolha de concentrações variáveis de acrilamida e de N,N'-metilenobisacrilamida, um reagente que promove interligações no momento da polimerização (VOET e VOET, 1995). É um método onde moléculas carregadas em solução, normalmente proteínas e ácidos nucleicos, migram sob influência de um campo elétrico. Sua razão de migração através do campo elétrico depende da força do campo, da carga da rede, do tamanho e forma das moléculas, da força iônica, viscosidade e temperatura do meio (PATEL, 1994).

O tratamento com dodecil sulfato de sódio elimina as diferenças nas formas, restando somente as diferenças nas massas (comprimento das cadeias protéicas) o que determinará a taxa de migração das proteínas na eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS). Quanto maior a molécula, menor a sua mobilidade. A copolimerização ocorre ainda na presença de persulfato de amônia e TEMED (tetrametiletlenodiamina). O TEMED catalisa a liberação de radicais livres de persulfato (SO_4^-) que por sua vez

iniciam a polimerização. A polimerização requer ligações entre as cadeias de poliacrilamida geradas por moléculas de bisacrilamida (VOET e VOET, 1995).

Para avaliar a influência da transglutaminase nos monômeros de proteínas lácteas, nas ligações cruzadas promovidas pela enzima, a eletroforese SDS-Page unidimensional é utilizada para identificar as frações de proteínas em diversos estudos (SHARMA, LORENZEN e QVIST, 2001; O'SULLIVAN, KELLY e FOX, 2002; HUPPERTZ e KRUIF, 2007; MYLLÄRINEN, BUCHERT e AUTIO, 2007; OZER et al., 2007).

1.10 Referências

ABU-JDAYIL, B.; MOHAMEED, H. Experimental and modeling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 359-365, 2002.

AICHINGER P.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.; ROUVET, M.; D'AMICO, N; ZINK,R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chimosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.31, p.243-255, 2003.

ALBUQUERQUE, L.C.; CARDOSO, M.; RABELLO, E.; ROSA, M.C.G. O queijo no Brasil: origem e descrição. **Revista Leite e Derivados**, ano 3, n. 15, p. 37-54, 1994.

ALEXANDER, M. e DALGLEISH, D.G. Application of transmission diffusing wave spectroscopy to the study of gelation of milk by acidification and rennet. **Colloids and Surfaces B: Biointerface**, v. 38, p. 83-90, 2004.

ALFENAS, A.C. **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins**. 1 ed. Viçosa: UFV, 1998.

ANDO, H.; ADACHI, M.; UMEDA, K.; MATSURA, A.; NONAKA, M.; UCHIO, R.;TANAKA, H.; MOTOKI, M. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.53, n.10, p.2613-2617,1989.

ANTUNES, A.E.C.; MOREIRA, A.S.; VENDRUSCOLO, J.L.S.; VENDRUSCOLO, C.T. Screening of *Xanthomonas campestris* pv *pruni* Strains According to their production of xanthan and its viscosity and chemical composition. **Brazilian Journal Food Technology**, v.6, n.2, p.317-322, jul/dez.,2003.

ANTUNES, A.E.C.; MOTTA, E.M.P. e ANTUNES, A.J. Perfil de textura e capacidade de retenção de água de géis ácidos de concentrado protéico de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23 (Supl), p.183-189, dez.2003.

ANTUNES, A.J. **Funcionalidade de proteínas do soro de queijo bovino**. SP: Manole, 2003.

ATRA, R.; VATAI, G.; BEKASSY-MOLNAR, E; BALINT, A. Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.325-332, 2005.

BANON, S. e HARDY, J. A Colloidal Approach of Milk Acidification by Glucono-Delta-Lactone. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 935-941, 1992.

BARONI, A.F.; FREITAS, I.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D.; MEMEGALLI, F.C. Caracterização reológica de requeijão cremoso tradicional e com teor reduzido de gordura: viscosidade extensional e em cisalhamento. **Brazilian Journal Technology**, v. 291(2), p. 21-29, 1999.

BONISCH, M.P.; HEIDEBACH, T.C. e KULOZIK, U. Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein. **Food Hydrocolloids**, v.22, P. 288–297, 2008.

BONISCH, M.P.; HUSS, M.; LAUBER, S. e KULOZIK, U. Yoghurt gel formation by means of enzymatic protein cross-linking during microbial fermentation. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 585-595, 2007a.

BONISCH, M.P.; HUSS, M.; WEITL, K.; KULOZIK, U. Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. **International Dairy Journal**, v. 17, n. 11, p. 1360-1371, 2007b.

BOYE, J.I.; ALLI, I. e ISMAIL, A.A. Use of differential scanning calorimetry and infrared spectroscopy in the study of thermal and structural stability of α -Lactalbumin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.1116-1125, 1997.

BRANCO, I.G. e GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando modelo de Casson. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, n.2, p.183-189, abr./jun. 2005.

BRYANT, C.M. e McCLEMENTS, D.J. Influence of xantan gum on physical characteristics of heat-denatured whey protein solutions and gels. **Food Hydrocolloids**, n.14, p.383-390, 2000.

BURITI, F.C.A.; ROCHA, J.S. da; SAAD, S.M.I. Incorporation os *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 1279-1288, 2005.

CAMACHO, M.M., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. e CHIRALT, A. Rheological characterization of experimental dairy creams formulated with locust bean gum (LBG) and λ -carrageenan combinations. **International Dairy Journal**, v.15, p. 243-248, 2005.

CAPITANI, C.D.; PACHECO, M.T.B.; GUMERATO, H.F.; VITALI, A. e SCHMIDT, F.L. Recuperaçãode proteínas do soro de queijo por meio de coacervação com polissacarídeo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.11, p. 1123-1128, nov. 2005.

CARVALHO, J.D.G.; VIOTTO, W.H. e KUAYE, A.Y. The quality of Minas Frescal cheese produced by different technological processes. **Food Control**, v.18, p.262-267, 2007.

CASAS, T.A.; MODHEDANO, A.F. e GARCIA-OCHOA, F. Viscosity of guar gum and xantan/guar mixture solutions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n.8, p.1722-1727, 2000.

CASTILLO, M.; LUCEY, A.; WANG, T.; PAYNE, F.A. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 153-163, 2006.

CELIK, S. β -Lactoglobulin genetic variants in Brown Swiss breed and its association with compositional properties and rennet clotting time of milk. **International Dairy Journal**, v.13, p. 727-731, 2003.

CHEFTEL, J.; CUQ, J.; LORIENT, D. **Proteínas alimentarias : bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas**. Zaragoza: Acribia, 1989.

CHRISTENSEN, B.M.; SORENSEN, E.S.; HOJRUP, P.; PETEERSEN, T.E.; RASMUSSEN, L.K. Localization of potencial transglutaminase cross-linking sites in bovine caseins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.44, p.1943-1947, 1996.

CHRISTIANSEN, K.F.; KREKLING, T.; KOHLER, A.; VEGARUD, G.; LANGSRUD, T.; EGELANDSDAL, B. Microstructure and sensory properties of high pressure processed dressings stabilized by different whey proteins. **Food Hydrocolloids**, v.20, p.650-662, 2006.

CORREDIG, M e DALGLEISH, D.G. The mechanisms of the heat-induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk. **International Dairy Journal**, v.9, p.233-236, 1999.

COZZOLINO, A.; PIERRO, P.D.; MARINIELLO, L.; SORRENTINO, A.; MASI, P.; PORTA, R. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. **Biotechnololy and Applied Biochemistry**, v. 38, p. 289-295, 2003.

CUNHA, T.M.; CASTRO, F.P. de; BARRETO, P.L.M.; BENEDET, H.D.; PRUDÊNCIO, E. S. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 29, n. 1, p. 103-116, jan./mar. 2008.

DALGLEISH, D.G.; VERESPEJ, E.; ALEXANDER, M.; CORREDIG, M. The ultrasonic properties of skim milk related to the release of calcium from casein micelles during acidification. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 1105–1112, 2005.

DE JONG, G.A.H. e KOPPELMAN, S.J. Transglutaminase catalysed reactions: impact on food applications. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 8, p. 2798-2806, 2002.

DIMITRELI, G e THOMAREIS, A. S. Texture evaluation of blcok-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. **Journal of food Engineering**, v. 79, p. 1364-1373, 2007.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p.265–271, 2004.

EISSA, A.S. e KHAN, S.A. Acid-Induced gelation of enzymatically modified, preheated whey proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.5010-5017, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Divisão Gado de Leite. Leite em números: produção. Disponível em: <http://www.cnpqi.embrapa.br/producao/producao.php> . Acesso em 06 out. 2007.

FARNSWORTH, J.P.; LI, J.; HENDRICKS, G.M.; GUO, M.R. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. **Small Ruminant Research**, v. 65, p. 113-121, 2006.

FARRELL JR., H.M.; MALIN, E.L.; BROWN, E.M.; QI, P.X. Casein micelle structure: what can be learned from milk synthesis and structural biology? **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.11, p.135-147, 2006.

FENNEMA, Owen R.. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000.

FOEGEDING, E.A.; BROWN, J.; DRAKE, M.; DAUBERT, C.R. Advances in modifying and understading whey protein functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v.13, p.151-159, 2002.

FOX, P.F. e McSWEENEY, P.L.H. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. Blackie Academic & Professional: UK, 1998. 396 p.

GAUCHE, C. **Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas de iogurte elaborado após tratamento enzimático**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC).

GRANADA, G. et al. Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de geléias *light* de abacaxi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25 (4), p.629-635, out.-dez. 2005.

GRUNDELIUS, A.U.; LODAITE, K.; STERGREN, K.O.G.; PAULSSON, M.; DEJMEK, P. Syneresis of submerged single curd grains and curd rheology. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 489-496, 2000.

GUNASEKARAN, S. E AK, M.M. **Cheese rheology and texture**. CRC Press: USA, 2003.

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C. de e DE PAULA, H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.19(4), p.479-488, jul/ago, 2006.

HINRICHS R.; GÖTZ, J.; NOLL, M.; WOLFSCHOON, A.; EIBEL, H.; WEISSER, H. Characterization of the water-holding capacity of fresh cheese samples by means of low resolution nuclear magnetic resonance. **Food Research International**, v.37, p. 667-676, 2004.

HINRICHS, J. Incorporation of whey proteins in cheese. **International Dairy Journal**, v.11, p. 495-503, 2001.

HONG, Y. e CREAMER, L.K. Changed protein structures of bovine β -lactoglobulin B and α -lactalbumin as a consequence of heat treatment. **International Dairy Journal**, v.12, p. 345-359, 2002.

HORNE, D.S. Casein micelles as hard spheres: limitations of the model in acidified gel formation. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng.Aspects**, v.213, p.255-263, 2003.

HUI, Y.H. Dairy Science and Technology Handbook. VCH: USA, 1993.

HUPPERTZ, T. e KRUIF, C.G. de. Rennet-induced coagulation of enzymatically cross-linked casein micelles. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 442-447, 2007.

IMM, J.Y.; LIAN, P. e LEE, C.M. Gelation and water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 2, p. 200-205, 2000.

JAROS, D. et al. Transglutaminase in dairy products: chemistry, physics, applications. **Journal of Texture Studies**, v. 37, p. 113-155, 2006.

JOVANOVIĆ, S.; BARAC, M.; MACEJ, O. Whey proteins-properties possibility of application. **Mljekarstvo**, v.55(3), p.215-233, 2005.

KANAJI, T.; OZAKI, H.; TAKAO, T.; KAWAJIRI, H.; IDE, H.; MOTOKI, M.; SHIMONISHI, Y. Primary structure of microbial transglutaminase from *Streptovercillium* sp. Strain S-8112. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 268, n. 16, p. 11565-11572, 1993.

KARLSSON, A.O.; IPSEN, R. e ARDÖ, Y. Rheological properties and microstructure during rennet induced coagulation of UF concentrated skim milk. **International Dairy Journal**, v.17, p. 674–682, 2007.

KASHIWAGI, T. et al. Crystal Structure of Microbial Transglutaminase from *Streptovercillium mobaraense*. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 46, p. 44252–44260, 2002.

KIM, S.H.; CARPENTER, J.A.; LANIER, T.C.; WICKER, L. Polymerization of beef actomyosin induced by transglutaminase reaction. **Jounal of Food Science**, v.58, p. 473-474, 1993.

KRUIF, C. G. de. Casein micelle interactions. **International Dairy Journal**, v.9, p.183-188, 1999.

KURAISHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSA, Y. Transglutaminase: Its utilization in the food industry. **Food Reviews International**, v. 17, n. 2, p. 221-246, 2001.

LAGAUDE, A.; FERNANDEZ, L.; CUQ, J.; MARCHESSEAU, S. Characterization of curd formation during the rennet coagulation of milk by an optical microscopic method. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 1033–1039, 2004.

LAL, S. N.D.; O'CONNOR, C. J.e EYERS, L. Application of emulsifiers/stabilizers ind dairy products of high rheology. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.123-126, p.433-437, 2006.

LANNES, S.C.da S.; MEDEIROS, M.L. e AMARAL, R.L. Formulação de “chocolate” de cupuaçu e reologia do produto líquido. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 38, n. 4, out./dez., 2002.

LEE, S. K., ANEMA, K., & KLOSTERMEYER, H. The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. **International Journal of Food Science and Technology**,v. 39, p.763–771, 2004.

LEWIS, M.J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado**. Zaragoza (Espanha): Acribia, 1993.

LIVNEY, Y. D.; VERESPEJ, E. e DALGLEISH, D. G. Steric effects governing disulfide bond interchange during thermal aggregation in solutions of β -Lactoglobulin B and α -Lactalbumin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.8098-8106, 2003.

LODAITÉ, K.; STERGREN, K.O.; SANTOS, O.; ARCHAMBAULT, E.; PAULSSON, M.; DEJMEK, P. Fusion of skim milk cheese curd grains: Development of a method to measure the fracture stress of the bonds between fused curd grains. **International Dairy Journal**, v. 12, p. 455–461, 2002.

LUCEY, J.A. ADSA Foundation Scholar Award. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 2, p. 281-284, 2002.

LUCEY, J.A. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. **Food Hydrocolloids**, v.15, p.603-608, 2001.

MACHADO, J.C.V. **Reologia e escoamento de fluidos: Ênfase na indústria do petróleo**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, p. 1-37, 2002.

MAGENIS, R.B.; PRUDÊNCIO, E.S.; AMBONI, R.D.M.C.; CERQUEIRA-JÚNIOR, N.G.; OLIVEIRA, R.V.B.; SOLDI, V.; BENEDET, H.D. Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and whey cheese concentrated by ultrafiltration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p. 1-9, 2005.

MARUYAMA, L.Y.; CARDARELLI, H.R.; BURITI, F.C.A.; SAAD, S.M.I. Textura instrumental de queijo *petit-suisse* potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.26(2), p.386-393, abr/jun. 2006.

MIRALLES, B.; KRAUSE, I.; RAMOS, M.; AMIGO, L. Comparison of capillary electrophoresis and isoelectric focusing for analysis of casein/caseinate addition in processed cheeses. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1448-1453, 2006.

- MODLER, H.W. e EMMONS, D.B. The use of continuous ricotta processing to reduce ingredient cost in 'further processed' cheese products. **International Dairy Journal**, v.11, p.517-523, 2001.
- MUNHOZ, M.P.; WEBER, F.H.; CHANG, Y.K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24(3), p. 403-406, jul/set. 2004.
- MYLLÄRINEN, P.; BUCHERT, J.; AUTIO, K. Effect of transglutaminase on rheological properties and microstructure of chemically acidified caseinate gels. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 800-807, 2007.
- O'SULLIVAN, M.M.; KELLY, A.L. e FOX, P.F. Effect of transglutaminase on the heat stability of milk: a possible mechanism. **Journal Dairy Science**, v.85, p. 1-7, 2002.
- OZER, B.; KIRMACI, H.A.; OZTEKIN, S.; HAYALOGLU, A.; ATAMER, M. Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 199-207, 2007.
- PANDEY, P.K.; RAMASWAMY, H.S. e ST-GELAIS, D. Water-holding capacity and gel strength of rennet curd as affected by high-pressure treatment of milk. **Food Research International**, v.33, p. 655-663, 2000.
- PATEL, D. **Gel Electrophoresis - Essencial Data**. Editora Jonh Wiley e Sons, p. 1-15, 1994.
- PATOCKA, G.; CERVENKOVA, R.; NARINE, S. JELEN, P. Rheological behaviour of dairy products as affected by soluble whey protein isolate. **International Dairy Journal**, v.16, p.399-405, 2006.
- PENNA, A.L.B.; SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 7-13, 2001.
- PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.de M. e FIGUEIREDO, R.M.F. de Comportamento reológico de mel de abelha urucu (*Melípona scutellaris* L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n. 2, jul/dez 2003.

PERMYAKOV, E.A. e BERLINER, L.J. Minireview: α -Lactalbumin: structure and function. **Federation of European Biochemical Societies Letters**, v.473, p.269-274, 2000.

PERRY, K.S.P. Queijos: Aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. **Química Nova**, v. 27, n.2, 293-300, 2004.

PHILLIPS, G.O. e WILLIAMS, P.A. **Handbook of hydrocolloids**. CRC Press: Cambridge, 2000.

PINTADO, M.E.; MACEDO, A.C.; MALCATA, F.X. Review: Technology, Chemistry and Microbiology of Whey Cheeses. **Food Science Technology International**, v.7(2), p.105-116, 2001.

PRUDÊNCIO, E.S. e BENEDET, H.D. Aproveitamento do soro de queijo na obtenção do extrato hidrossolúvel de soja. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, Campinas, Jan./Apr. 1999.

PRUDÊNCIO, I.D. **Propriedades físicas de queijo *Petit Suisse* elaborado com retentado de soro de queijo e estabilidade de antocianinas e betalainas adicionadas**. 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).

RAO, M.A.; **Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications**. New York: An Aspen Publication, 1999. 433p.

RASMUSSEN, L.K.; JOHNSEN, L.B.; TSIORA, A.; SORENSEN, E.S.; THOMSEN, J.K.; NIELSEN, N.C.; JAKOBSEN, H.J.; PETERSEN, T.E. Disulphide-linked caseins and caseins micelles. **International Dairy Journal**, v.9, p.215-218, 1999.

RIBEIRO, A.C. et al. Controle microbiológico da vida de prateleira de ricota cremosa. **Ciência agrotecnológica**, v. 29, n. 1, p. 113-117, jan./fev. 2005

RUTTEN, A.A.C.M.; BOUWMAN, W.C. e LEEDEN, M.C. van der. β -Lactoglobulin as an ideal random polymer coil. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng.Aspects**, v.210, p.243-252, 2002.

SANCHEZ, C.; ZUNIGA-LOPEZ, R.; SCHMITT, C.; DESPOND, S.; HARDY, J. Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. **International Dairy Journal**, v.10, p.199-212, 2000.

SCHORSCH, C.; CARRIE, H.; CLARK, A.H.; NORTON, I.T. Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase-induced gels. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 519-528, 2000.

SCHRAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. Gebrueder HAAKE: Alemanha, 1998.

SGARBIEIRI, V.C. Revisão: Propriedades estruturais e físico-químicas das proteínas do leite. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, n.1, p.43-56, jna/mar., 2005.

SGARBIERI, V. C. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de queijo. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.17(4), p.397-409, out/dez, 2004.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996.

SHARMA, R.; LORENZEN, P.C. e QVIST, K.B. Influence of transglutaminase treatment of skim milk on the formation of ϵ -(γ -glutamyl)lysine and the susceptibility of individual proteins towards crosslinking. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 785-793, 2001.

SILVA, K. e BOLINI, H.M.A. Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26 (1), p.116-122, jan-mar, 2006.

SING, H. E WAUNGANA, A. Influence of heat treatment of milk on cheesemaking properties. **International Dairy Journal**, v.11, p.543-551, 2001.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. Freeman Press: USA, 1996.

SURH, J.; WARD, L.S. e McCLEMENTS, D.J. Ability of conventional and nutritionally-modified whey protein concentrates to stabilize oil-in-water emulsions. **Food Research International**, v. 39, p. 761-771, 2006.

TIJSKENS, E. e DE BAERDEMAEKER, J. Mathematical modelling of syneresis of cheese curd. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 65, p. 165–175, 2004.

TONELLI, J.T.C.L., MURR, F.E.X. e PARK, K.L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p.181-204, 2005.

TORALLES, R.P.; VENDRUSCOLO, J.L. e VENDRUSCOLO, C.T. Reologia de pure homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal Food Technology**, v.9, n.1, p.1-8, jan.mar. 2006.

VEGA, C. E GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.15, p.249-254, 2005.

VLIET, T. van; LAKEMON, C. M.M.; VISSCHERS, R.W. Rheology and structure of milk protein gels. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 9, p. 298-304, 2004.

VOET, D. e VOET, J.G. Biochemistry. 2 ed. Editora John Wiley & Sons, inc: NY, 1995.

WELTMANN, R.N. Breakdown of thixotropic structure as a function of time. **Journal of Applied Physics**, v. 14, p. 343-350, 1943.

WIT de, J.N. Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. **Journal Dairy Science**, v.81, p.597-608, 1998.

ZAMBRANO, F.; HIKAGE, A.; ORMESESE, R. de C. C.; MONTENEGRO, F.M.; RAUEN-MIGUEL, A.M. Efeito das gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, n.1, p.63-71, jan./mar.,2005.

2. Queijos cremosos com teor reduzido de gordura, elaborados com diferentes processos de coagulação e goma xantana

Queijos cremosos com teor reduzido de gordura, elaborados com diferentes processos de coagulação e goma xantana

Durante o armazenamento de queijos cremosos, mudanças químicas e físicas influenciam nas características finais do produto, principalmente no que diz respeito à utilização de géis lácteos (ácido ou enzimático) como massa básica para a obtenção deste produto. O estudo das propriedades reológicas e microscópicas, dessas amostras pertinentes a fim de se avaliar os efeitos dos constituintes nas características estruturais do alimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de goma xantana e de géis lácteos (ácido e enzimático), nas propriedades físico-químicas, de sinerese, separação de soro, e reológicas de queijo cremoso com teor reduzido de gordura. Avaliou-se os parâmetros físico-químicos (minerais, umidade, sólidos totais, lipídios e proteínas), índice de sinerese, índice de separação de soro, parâmetros reológicos (limite de escoamento, viscosidade plástica, índice de comportamento de fluxo, índice de consistência) e microscopia. Observou-se que a adição de goma xantana se mostrou eficiente no controle da sinerese, resultando em uma matriz mais uniforme e menos porosa, dificultando a separação de soro, e aumentando a viscosidade das amostras. Sendo que a adição de xantana e o tipo de gel lácteo influenciaram nas propriedades físicas dos queijos cremosos durante o armazenamento.

Palavras-chave: *xantana, queijo cremoso, gel ácido, gel enzimático.*

1. Introdução

A elaboração de queijo cremoso envolve a quebra da rede de para-caseína do queijo pela ação do aquecimento e mecânica na presença dos sais fundentes, e estes têm a função de manter uma massa fundida homogênea que pode imobilizar água e demais ingredientes. Durante o aquecimento, interações proteína-proteína e demais interações resultam na formação de uma rede tridimensional, a qual durante o armazenamento se rearranja e se contrai, combinado com sedimentação, que expulsa o soro, caracterizando a presença de sinerese (GRUNDELIUS et al., 2000; SANDOVAL-CASTILLA et al., 2004; DIMITRELI e THOMAREIS, 2008).

Géis lácteos possuem um alto valor comercial para a indústria de laticínios, e são obtidos por diferentes processos, envolvendo diretamente as caseínas, por exemplo, a acidificação do leite até o pI e/ou o seu tratamento enzimático (com renina, quimosina ou pepsina). No leite (pH 6,8), as caseínas nativas existem como longas micelas coloidais associadas com fosfato de cálcio, essas micelas são altamente hidratadas, contendo 4 tipos de caseínas: α_{s1} , α_{s2} , β e κ . São estabilizadas estericamente por uma das quatro caseínas, a κ -caseína, além da presença de cálcio inorgânico (2,87%), fosfato (2,89%) e citrato (0,40%). Os géis lácteos são estabilizados principalmente por ligações não covalentes fracas (DICKINSON, 2006).

Variações nos processos de elaboração de queijo, conduzem a diferentes métodos de controle de sinerese do gel lácteo a fim de obter desejável umidade, acidez e textura do produto. Por esta razão, sinerese é considerada um importante parâmetro de qualidade, pois o controle desta resulta em um produto final mais homogêneo e de qualidade (CASTILLO et al., 2006).

O uso de polissacarídeos, como estabilizantes melhora a consistência (viscosidade), elasticidade e capacidade de retenção de água (sinereze) em iogurtes (SANDOVAL-CASTILLA et al., 2004; EVERETT e McLEOD, 2005), em sobremesas lácteas (ROMANCHIK-CERPOVICZ, CONSTANTINO e GUNN, 2006), em emulsões lácteas contendo caseinato de sódio (VEGA, DALGLEISH e GOFF, 2005), em sorvetes (VEGA e GOFF, 2005; LAL, O'CONNOR e EYRES, 2006), em géis lácteos acidificados (SANCHEZ et al., 2000; BRAGA e CUNHA, 2004), em soluções aquecidas com proteínas de soro desnaturadas (BRYANT e McCLEMENTS, 2000), e em géis de proteínas de soro isoladas (BERTRAND e TURGEON, 2007).

Os polissacarídeos microbianos apresentam uma série de regularidades estruturais que raramente são encontradas em polímeros de carboidratos provenientes de outras fontes. Tal regularidade na sua estrutura primária implica nas cadeias poderem assumir conformações ordinárias (hélices simples e múltiplas) tanto no estado sólido como em solução e isso, por sua vez tem uma forte influência sobre as suas propriedades. Dentre os polissacarídeos microbianos, a goma xantana destaca-se na aplicação em alimentos (TONELLI, MURR e PARK, 2005). É produzido por fermentação aeróbica pelo microrganismo *Xanthomonas campestris* (MOSCHASKIS, MURRAY e DICKINSON, 2005; BERTRAND e TURGEON, 2007). Sua cadeia principal é linear com unidades de β -D-glucose (como na celulose) com uma cadeia lateral de trissacarídeo (D-glucose, D-manose D-gluconato), contendo um resíduo de ácido glicurônico (1 \rightarrow 4) ligado a uma unidade terminal de manose (1 \rightarrow 2) e uma segunda manose que conecta-se à cadeia principal. Aproximadamente 50% dos resíduos de manose terminal estão piruvatados e os resíduos não terminais carregam

grupos acetil (SWORN, 2000; BERTRAND e TURGEON, 2007). A estrutura secundária da xantana passa por uma transição conformacional de hélice para uma enovelada com o aumento da temperatura (BRAGA e CUNHA, 2004). Embora a xantana seja considerada um hidrocolóide não-geleificante, alguns hidrogéis podem ser obtidos. Essa gelatinização provavelmente ocorre depois da formação de zonas de junção estáveis durante o aquecimento (RAMÍREZ et al., 2002; BRAGA e CUNHA, 2004).

As longas moléculas de xantana formam agregados através de ligações de hidrogênio e emaranhamento de polímero, resultando em uma alta viscosidade à baixa taxa de deformação. E a estabilidade não é afetada por temperatura e pH. Por isso, a xantana tem uma grande aceitabilidade na indústria de alimentos (RAMÍREZ et al., 2002; MOSCHAKIS, MURRAY e DICKINSON, 2005). Sob a influência de altas taxas de deformação, a viscosidade da solução de xantana diminui, com o desenovelamento da rede e o parcial alinhamento de macromoléculas individuais na direção à deformação, resultando em uma baixa viscosidade a altas taxa de deformação. Com a remoção da deformação, a viscosidade inicial é recuperada quase instantaneamente. Estas características reológicas fazem com que seja um adequado estabilizante e espessante de muitos alimentos (MOSCHAKIS, MURRAY e DICKINSON, 2005).

As propriedades estruturais e reológicas de géis de proteína-polissacarídeo dependem das interações dos bipolímeros, sabe-se que esses tipos de interações são importantes para melhorar a qualidade dos alimentos e para a elaboração de novos produtos com textura desejável. As propriedades mecânicas caracterizadas pela medida de viscosidade fornecem informações sobre textura (BRAGA e CUNHA,

2004), caracterizando soluções de xantana como fluidos pseudoplásticos (SWORN, 2000) reversíveis (TONELLI, MURR e PARK, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da goma xantana e de diferentes géis lácteos nas propriedades físico-químicas, de sinerese, separação de soro, e reológicas de queijo cremoso com teor reduzido de gordura.

2. Material e métodos

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a fabricação dos géis lácteos (controle) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Bela Vista), coalho líquido (Bela Vista), ácido láctico (Vetec), cloreto de cálcio p.a. dihidratado (Vetec). Para a fabricação do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec), sorbato de sódio (Allimentus), creme de leite comercial pasteurizado, ricota comercial e polissacarídeos: xantana - T06/748 (Gemacom). Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram de qualidade analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Planejamento Experimental

Os fatores que podem influenciar nas propriedades físicas e químicas das amostras de queijos cremosos – quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos – foram analisados através estatísticas descritivas (soma, média, mediana, moda, amplitude, variância, desvio padrão,

coeficiente de variação e quartis), avaliadas através de histograma e polígono de frequência. Um total de 48 amostras de queijos cremosos foram elaboradas em triplicatas para todas as amostras, adicionando 0,2 e 0,3% dos polissacarídeos guar, locusta e xantana, com gel ácido e enzimático separadamente. As medidas de sinerese dos queijos cremosos foram as respostas selecionadas para a obtenção das formulações ideais para este estudo. Os fatores e as proporções analisados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.

Ingredientes	Formulações*					
	A1	A2	A3	E1	E2	E3
Soro líquido	25%	35%	45%	35%	45%	55%
Polissacarídeos (guar, locusta e xantana)	0,2 e 0,3%					

* Formulações A1, A2, A3 – massas básicas obtidas por coagulação ácida. Formulações E1, E2, E3 - massas básicas obtidas por coagulação enzimática.

2.2.2 Elaboração dos géis lácteos

Gel ácido: a coagulação ácida foi elaborada adicionando ao leite pasteurizado tipo C (42 °C), 60 mL/L de solução de ácido láctico (10%). A coagulação foi seguida de dessoragem.

Gel enzimático: ao leite pasteurizado tipo C (42 °C) foi adicionado: fermento lácteo liofilizado (0,2%), cloreto de cálcio 50 % p/v (0,4 %) e coalho líquido (0,08 %). A etapa de coagulação foi realizada em estufa (37 °C/ 40-60 minutos), seguida de dessoragem e fermentação *over-night* a temperatura ambiente (25 °C).

2.2.3 Elaboração do queijo cremoso

Elaboração do queijo cremoso: a fusão do gel lácteo foi realizada a 90 °C, com adição de citrato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1 %). Após foi adicionado creme de leite (20%), ricota (50 %), soro de leite líquido (35 %), sorbato de potássio (0,1 %) e xantana com diferentes percentuais. Os percentuais foram calculados em relação a massa total (gel lácteo e ricota). Obteve-se quatro diferentes formulações queijos: E20 – 20% creme de leite / gel enzimático; E10X – 10% de creme / 0,2% de xantana / gel enzimático; A20 – 20% creme de leite / gel ácido e A10X – 10% de creme / 0,2% de xantana / gel ácido. As amostras foram envasadas em recipientes de polipropileno e armazenadas à temperatura de refrigeração (5 °C).

2.2.4 Análises físico-químicas

Para os géis lácteos: as análises físico-químicas de umidade, sólidos totais, resíduo mineral fixo, lipídios e proteínas. Para os queijos cremosos: as determinações foram umidade, sólidos totais, pH e resíduo mineral fixo (para os controles). Todas as análises foram realizadas em triplicata e de acordo com AOAC (2005).

2.2.5 Índice de sinerese

As amostras após armazenamento em refrigeração foram pesadas ($15 \pm 0,1$ g), centrifugadas a 10700 g (centrífuga refrigerada Janetzki, K24) por 30 min. O índice de sinerese foi calculado conforme equação 1 (AICHINGER et al., 2003) depois de 7, 11 e 15 dias de armazenamento dos queijos cremosos.

$$\% \text{ Sinerese} = \frac{P_s}{P_a} \cdot 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo: P_s = Peso do sobrenadante (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.6 Índice de separação de soro

As amostras após armazenamento em refrigeração foram pesadas ($15 \pm 0,1\text{g}$), drenadas sobre uma malha de 100 mesh com o auxílio de um funil, o soro coletado em um balão volumétrico (50 mL) previamente tarado. A porcentagem de soro liberado foi calculada através da diferença entre as pesagens do balão, utilizando para cálculo a equação 2 (ANTUNES, MOTTA e ANTUNES, 2003). Esta determinação foi realizada após 7, 11 e 15 dias de armazenamento ($5 \pm 1^\circ\text{C}$) dos queijos cremosos.

$$\% \text{ Separação de soro} = \frac{P_s}{P_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo: P_s = Peso do soro liberado (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.7 Análise microscópica

A análise microscópica foi realizada utilizando um microscópio de fluorescência (ZEISS, modelo AXIASTAR PLUS) foi usado para estudar a microestrutura dos queijos cremosos. As amostras foram distribuídas em lâminas (esfregaço), coradas com o fluorocromo azul de Nilo e secas a temperatura ambiente (25°C). As imagens foram obtidas com 5X de magnificação e a 480 nm. O azul de

Nilo tem afinidade pelas gotículas de gordura fazendo com que estas apresentem uma fluorescência amarela-brilhante.

2.2.8 Medidas reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc® 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a 5 ± 1 °C. As análises reológicas foram realizadas em 7, 11 e 15 dias de armazenamento. A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento da taxa de deformação que variou de 0,28 a $5,74 \text{ s}^{-1}$ para as coalhadas ácidas e 0,28 a $29,26 \text{ s}^{-1}$ para as coalhadas enzimáticas, totalizando 40 pontos. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata. Os modelos Bingham (1) e lei de Potência (2) foram adaptados matematicamente e utilizados para descrever o comportamento de fluxo das amostras dos queijos cremosos.

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{1}{\eta_{pl}} \dot{\gamma} \quad (1)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); σ_0 - limite de escoamento (Pa); η_{pl} - viscosidade plástica (mPa.s); $\dot{\gamma}$ taxa de deformação (s^{-1}).

$$\eta = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^{n-1}} \quad (2)$$

Sendo: η - viscosidade aparente (mPa.s); K - índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

2.2.9 Análise estatística

A análise estatística dos valores médios obtidos nas análises físico-químicas, sinerese, separação de soro e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi realizada por Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 5% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab® (versão 7.5).

3. Resultados e discussão

3.1 Planejamento experimental

O efeito das combinações entre os fatores de quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos foram avaliadas utilizando estatísticas descritiva, histograma e polígono de frequência. Os resultados obtidos entre as combinações dos fatores e o índice de sinerese estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

É importante observar na Figura 1 que os valores mais frequentes estão presentes no quartil inferior, ou seja nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 22. Dentre as melhores formulações, ou seja, que apresentaram menores teores de sinerese após 7 dias de

armazenamento, obteve-se aquelas com 35% e 45% de soro, com 0,2% de xantana para os dois tipos de géis lácteos.

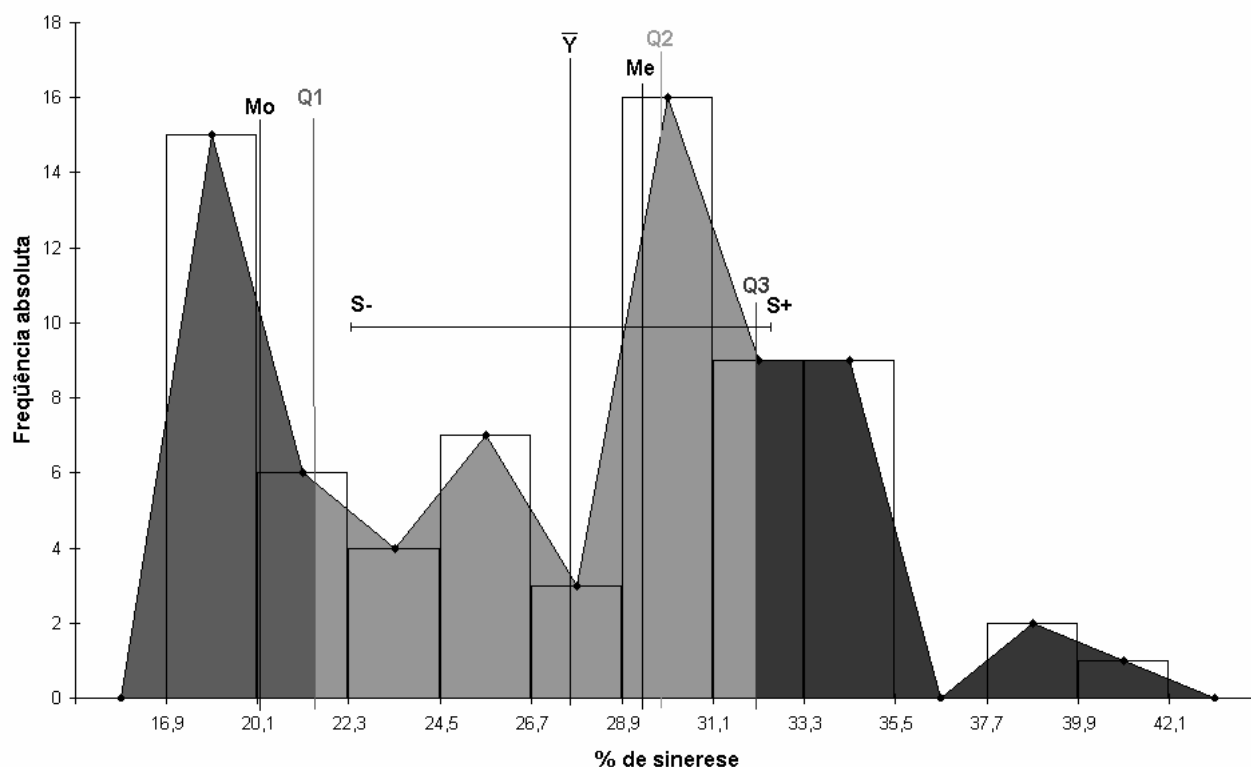


Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

Os valores mais frequentes na Figura 2, estão presentes no quartil inferior, ou seja, nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 3,5% (Figura 2). Demonstrando que as melhores formulações foram os queijos cremosos com 35% de soro com 0,3% de guar e/ou locusta, para aqueles elaborados com coalhada enzimática. E aqueles queijos elaborados com coalhada ácida, demonstraram menor teor de sinerese, para os que foram elaborados com 45% de soro e 0,3% de guar e/ou locusta.

Para este estudo, o gel ácido apresentou menor índice de sinerese quando foi utilizado somente 0,2% de xantana. E o gel enzimático, apresentou boa interação com 0,2% de xantana, ou 0,3% de guar ou 0,3% de locusta. Mas como o objetivo do estudo foi comparar, inclusive, os dois tipos de géis lácteos, descartou-se as proporções para guar e locusta.

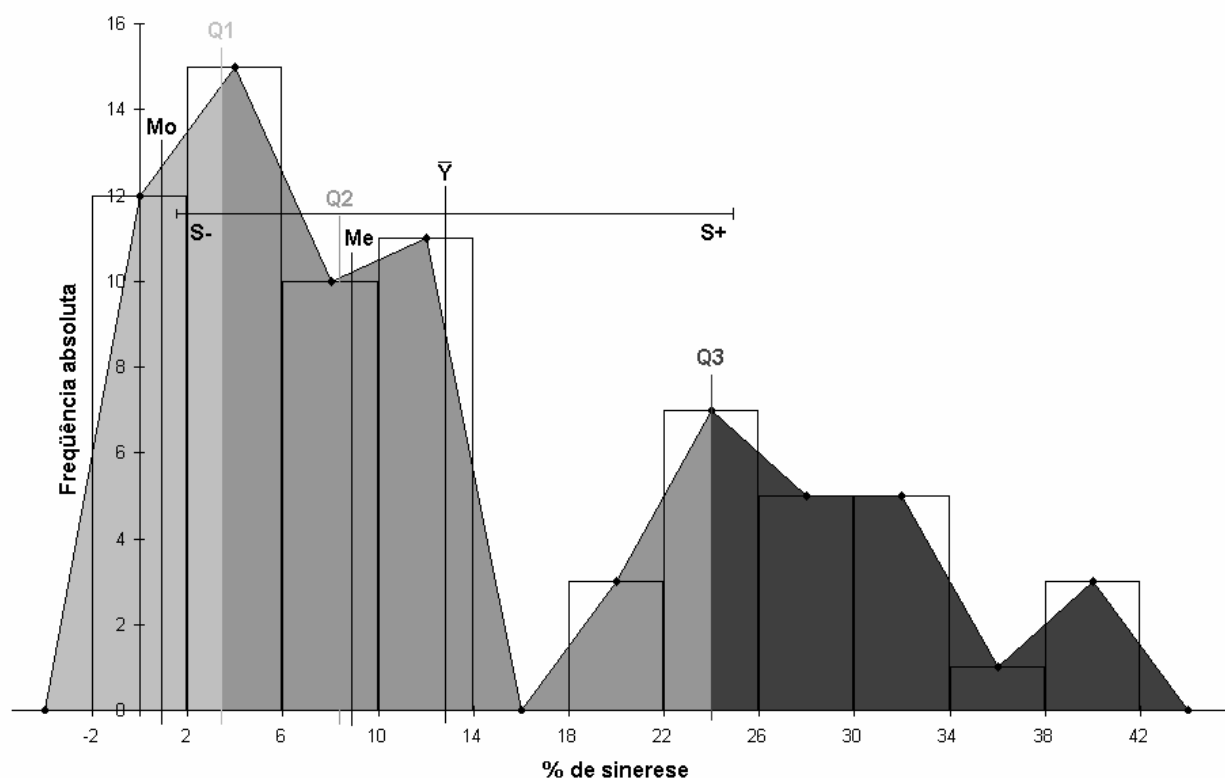


Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

3.2 Análises físico-químicas

Os valores médios obtidos na caracterização físico-química dos queijos cremosos elaborados com diferentes géis lácteos e adicionados de xantana estão apresentados na Tabela 2.

Observa-se que a redução de 10% no creme de leite representou cerca de ~ 31% na redução de lipídios nos queijos elaborados com gel enzimático e ~ 40% de redução naqueles elaborados com gel ácido. O teor de minerais, sólidos totais e umidade apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras elaboradas com gel enzimático (E20, E10X) e aquelas elaboradas com gel ácido (A20, A10X). Em relação ao teor de proteínas, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

As teorias de coagulação envolvem a presença do cálcio na formação do gel lácteo (JEN e ASHWORTH, 1970; McMAHON et al., 1984; SAVELLO et al., 1989; FOX e McSWEENEY, 1998; FENNEMA, 2005; BANSAL et al., 2006), através das ligações fosfocálcicas, interações iônicas entre as cargas positivas da para- κ -caseína e as cargas negativas das caseínas α_s e β . Na formação do gel ácido, a caseína precipitada solubiliza o cálcio coloidal que fica retido no soro, esta perda de cálcio não ocorre com o gel enzimático, justificando este gel ser considerado mais mineralizado.

Tabela 2. Análises físico-químicas de queijos cremosos com diferentes géis lácteos e com adição de xantana*.

Análises	Gel Enzimático**	
	E20	E10X
Minerais (% p/p)	2,72(±0,05) ^a _a	2,68(±0,05) ^a _a
Umidade (% p/p)	65,13 (±0,04) ^a _a	66,16(±0,05) ^a _a
Sólidos totais (% p/p)	34,89(±0,04) ^a _a	33,14(±0,05) ^a _a
Lipídios (% p/p)	13,12(±0,36) ^a _a	9,23(±0,12) ^b _a
Proteína (% p/p)	10,80(±0,15) ^a _a	10,58(±0,31) ^a _a

Análises	Gel ácido**	
	A20	A10X
Minerais (% p/p)	2,18(±0,03) ^a _b	2,11(±0,02) ^a _b
Umidade (% p/p)	70,32(±0,69) ^a _b	71,95(±0,22) ^a _b
Sólidos totais (% p/p)	29,68(±0,69) ^a _b	28,05 (±0,22) ^a _b
Lipídios (% p/p)	17,23(±0,71) ^a _b	10,35 (±0,50) ^b _b
Proteína (% p/p)	10,11(±0,25) ^a _a	10,82(±0,20) ^a _b

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo sendo as letras sobrescritas, a relação entre as formulações com mesmo gel e as letras subscritas, a relação entre os dois géis. **E20 = 20% de creme / gel enzimático; E10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel enzimático; A20 = 20% de creme / gel ácido; A10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel ácido.

3.3 Índice de sinerese e separação de soro

Os resultados do índice de sinerese e separação de soro estão apresentados na Tabela 3. Observou-se que as amostras com xantana apresentaram menor percentual de sinerese e separação de soro, com diferença significativa ($p < 0,05$) dos respectivos controles.

Tabela 3. Índices de sinerese e separação de soro dos queijos cremosos*.

Índice de sinerese				
Dias de armazenamento	Géis lácteos**			
	Ácido		Enzimático	
	A20	A10X	E20	E10X
7 dias	13,02 ^a _a	7,72 ^b _a	12,43 ^a _a	5,04 ^b _b
11 dias	17,31 ^a _a	10,02 ^b _a	9,51 ^a _b	7,16 ^b _b
15 dias	21,64 ^a _a	8,48 ^b _a	6,56 ^a _b	3,03 ^b _b
Índice de separação de soro				
Dias de armazenamento	Géis lácteos			
	Ácido		Enzimático	
	A20	A10X	E20	E10X
7 dias	9,70 ^a _a	7,01 ^b _a	7,05 ^a _a	5,12 ^b _b
11 dias	12,80 ^a _a	10,03 ^b _a	5,50 ^a _b	3,74 ^b _b
15 dias	18,81 ^a _a	8,19 ^b _a	4,54 ^a _b	1,14 ^b _b

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo as letras sobrescritas, a relação entre as formulações com mesma coalhada e o as letras subscritas, a relação entre as duas coalhadas. Média de três repetições. **E20 = 20% de creme / gel enzimático; E10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel enzimático; A20 = 20% de creme / gel ácido; A10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel ácido.

Analisando as amostras elaboradas com géis enzimáticos, houve redução significativa da sinerese e separação de soro para as amostras com xantana, se comparadas com a amostra controle (sem polissacarídeo e com 20% de creme). Havendo 40%, 75% e 46% de redução no índice de sinerese após 7, 11 e 15 dias de armazenamento, respectivamente. Em termos de separação de soro, nas amostras adicionadas de xantana, houve redução média de 42% neste parâmetro.

Em relação às amostras elaboradas com gel ácido, as amostras adicionadas de xantana apresentaram redução significativa ($p < 0,05$) na separação de soro e sinerese, durante todo o período de armazenamento (Tabela 3). Para estas amostras houve redução no índice de sinerese de 59%, 58% e 39%, após 7, 11 e 15 dias de armazenamento respectivamente. Em relação ao índice de separação houve uma redução média de 39% neste parâmetro.

Analisando os queijos cremosos elaborados com diferentes géis lácteos, observou-se que as amostras elaboradas com gel enzimático apresentaram redução no teor de separação de soro e sinerese, se comparadas àquelas elaboradas com gel ácido. Durante o período de armazenamento, estes parâmetros diminuíram para as amostras elaboradas com géis enzimáticos. Isto pode ser explicado pelo fato de que o gel enzimático possui maior teor de minerais. Segundo Lucey (2002), géis enzimáticos são dinâmicos e rearranjam-se em agrupamentos, formando uma rede que pode ocorrer antes ou durante à formação do gel. Este processo pode conduzir a formação de densos agregados e uma rede que tem amplos poros e é propensa à sinerese. Por isso a sinerese ocorre rapidamente em géis lácteos enzimáticos, mas é reduzida com o passar do tempo, a metade do seu nível inicial. Outro fator é uma pressão oposta devido ao efeito da rede do gel e fusão de cadeias de proteína, que se arranjam de tal forma que perdem menos soro. Para o aumento dos teores de sinerese nos queijos elaborados com gel ácido, de acordo com Fox e McSweeney (1998), valores de $\text{pH} < 5,8$ favorecem a solubilização do cálcio coloidal que passa a alterar o balanço dos componentes da rede protéica. Essa remoção do cálcio coloidal aumenta a repulsão eletrostática entre as moléculas de caseína, causando uma dissociação da caseína.

3.4 Comportamento reológico

O comportamento de fluxo (valores médios com 7, 11 e 15 dias de armazenamento) das amostras de queijos cremosos elaborados utilizando diferentes sistemas de coagulação, sem e com goma xantana, está apresentado na Figura 3. O comportamento apresentado, em que a viscosidade decresce com o aumento da taxa de deformação caracteriza as amostras como sendo fluidos não-Newtonianos, do tipo pseudoplástico. E pode ser explicado segundo Dimitreli e Thomareis (2004), pela progressiva orientação das macromoléculas em direção ao fluido.

O comportamento reológico dos queijos foi avaliado utilizando dois modelos matemáticos: o de Bingham (1) obtido pela regressão linear dos valores de viscosidade aparente *versus* taxa de deformação; e o de Lei de Potência (2) plotando em coordenadas logarítmicas dos valores de viscosidade aparente *versus* taxa de deformação. Os parâmetros reológicos dos queijos cremosos estão apresentados na Tabela 4. A adição de xantana às amostras contribui para a formação de uma rede protéica mais firme, resultando em maior viscosidade aparente, que é o resultado da maior força do gel, apesar da redução do conteúdo lipídico (Tabela 2).

Através dos parâmetros obtidos pela Lei de Potência (Tabela 4), pode-se observar que os valores de índice de consistência (K) das amostras aumentaram significativamente ($p < 0,05$) com a utilização da xantana, para todas as amostras elaboradas.

Quando comparadas às amostras elaboradas com diferentes géis lácteos (E20 e A20), observou-se que as amostras elaboradas com gel ácido, apresentaram

menor habilidade na capacidade de retenção de água, havendo diferença significativa ($p < 0,01$) se comparadas com as amostras elaboradas com gel enzimático (Tabela 3) que refletiu no índice de consistência dessas amostras (Tabela 4). Isto pode ser explicado, pois a maior concentração de sais contribui na retenção de água, como água ligada no gel de proteína, com conseqüente aumento da firmeza do gel lácteo enzimático (JEN e ASHWORTH, 1970; McMAHON et al., 1984).

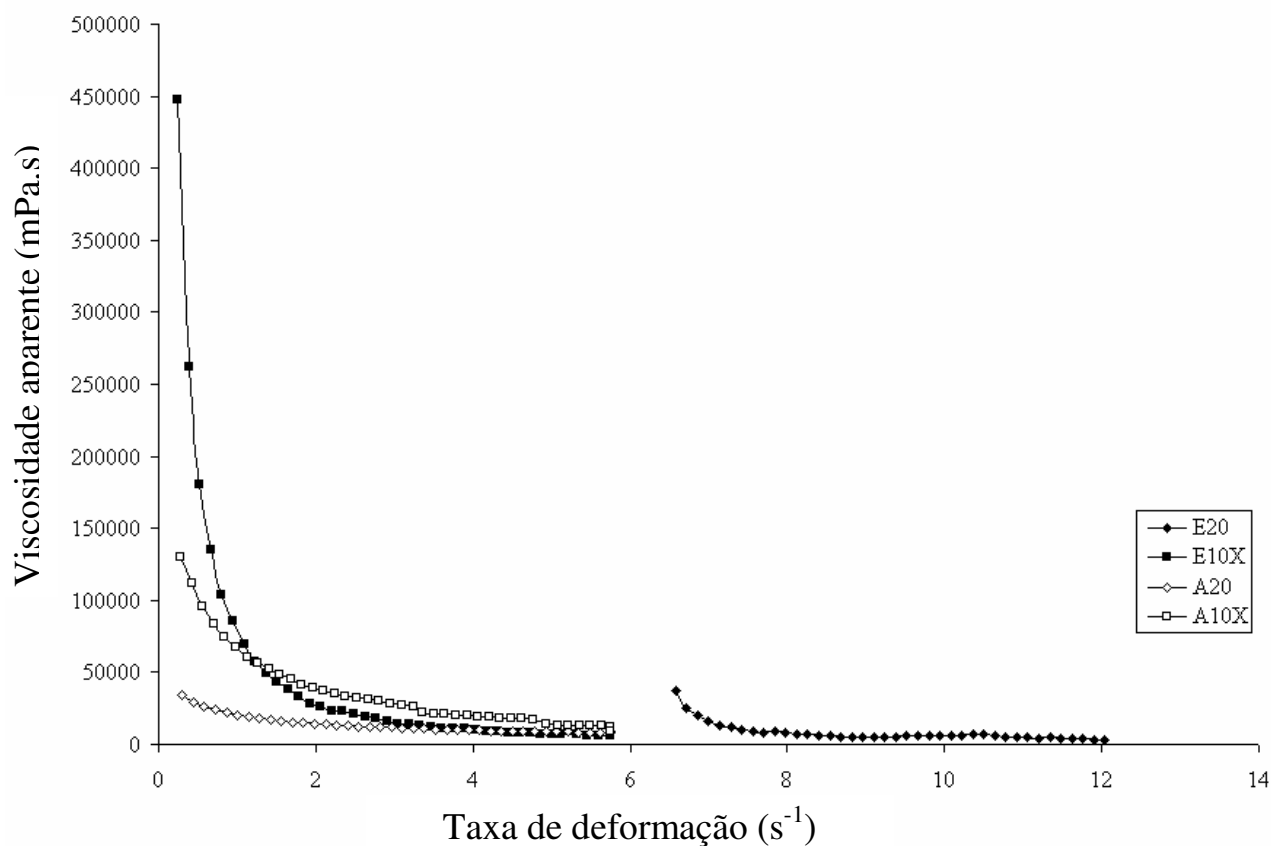


Figura 3. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos durante o período de armazenamento.

Valores médios durante o período de armazenamento. E20 = 20% de creme / gel enzimático; E10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel enzimático; A20 = 20% de creme / gel ácido; A10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel ácido.

Tabela 4. Parâmetros reológicos dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham e lei de Potência*.

Dias de Armazenamento	Modelos***	Gel ácido**		Gel enzimático**	
		A20	A10X	E20	E10X
7	Bingham				
	σ_0	$1,96.10^3$ ^{a a}	$10,82.10^4$ ^{b a}	$4,31.10^4$ ^{a b}	$8,24.10^4$ ^{b b}
	η_{pl}	$4,48.10^3$ ^{a a}	$18,65.10^3$ ^{b a}	$0,05.10^3$ ^{a b}	$1,68.10^4$ ^{b b}
	R	0,88	0,88	0,95	0,71
	Lei de potência				
	K	$2,79.10^4$ ^{a a}	$8,86.10^4$ ^{b a}	$3,81.10^4$ ^{a b}	$6,15.10^4$ ^{b b}
	n	$0,52$ ^{a a}	$0,18$ ^{b a}	$0,87$ ^{a b}	$0,25$ ^{b b}
	R	0,99	0,99	0,98	0,99
11	Bingham				
	σ_0	$1,62.10^4$ ^{a a}	$15,75.10^4$ ^{b a}	$4,04.10^3$ ^{a b}	$12,94.10^4$ ^{b b}
	η_{pl}	$2,18.10^3$ ^{a a}	$39,26.10^3$ ^{b a}	$0,93.10^3$ ^{a b}	$27,85.10^3$ ^{b b}
	R	0,89	0,93	0,90	0,77
	Lei de potência				
	K	$1,42.10^4$ ^{b a}	$10,0.10^4$ ^{b a}	$1,85.10^4$ ^{b b}	$9,19.10^4$ ^{b b}
	n	$0,49$ ^{a a}	$0,34$ ^{b a}	$0,34$ ^{a b}	$0,56$ ^{b b}
	R	0,99	0,99	0,99	0,99
15	Bingham				
	σ_0	$1,51.10^4$ ^{a a}	$15,13.10^4$ ^{b a}	$4,70.10^3$ ^{a b}	$12,29.10^4$ ^{b b}
	η_{pl}	$2,97.10^3$ ^{a a}	$38,31.10^3$ ^{b a}	$3,48.10^3$ ^{a a}	$26,28.10^3$ ^{b b}
	R	0,84	0,84	0,51	0,74
	Lei de potência				
	K	$1,75.10^4$ ^{b a}	$9,10.10^4$ ^{b a}	$2,19.10^4$ ^{c b}	$9,38.10^4$ ^{b b}
	n	$0,49$ ^{a a}	$0,32$ ^{b a}	$0,59$ ^{c b}	$0,58$ ^{b b}
	R	0,99	0,99	0,73	0,99

*Valores dentre da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo a primeira letra (subscrita) é a relação entre os dias de armazenamento; segunda letra (sobrescrita) relação entre as formulações com mesmo gel lácteo e a terceira letra (subscrita) é a relação entre os géis lácteos. **Os valores correspondem à média dos valores obtidos em duplicata. E20 = 20% de creme / gel enzimático; E10X = 10% de creme / 0,2% de xantana / gel enzimático; A20 = 20% de creme / gel ácido; A10X = 10% de creme / gel ácido. *** σ_0 = limite de escoamento, η_{pl} = viscosidade plástica, n = índice de comportamento de fluxo, K = índice de consistência, R = coeficiente de correlação.

Outro parâmetro importante que deve ser observado é o limite de escoamento (σ_0), obtido através do modelo de Bingham, que aumentou significativamente com a adição de xantana às amostras, em relação aos controles (E20 e A20), durante o período de armazenamento, demonstrando a característica plástica dessas amostras. As amostras elaboradas com gel enzimático (E20) apresentaram maior limite de escoamento que àquelas amostras elaboradas com gel ácido (A20) (Tabela 4). Demonstrando que as amostras elaboradas com os géis enzimáticos apresentam maior resistência ao fluxo.

Todas as amostras se comportaram como fluidos pseudoplásticos ($n < 1$), no entanto, é possível observar que independente do tipo de gel lácteo, estes índices diferenciaram significativamente ($p < 0,05$) até o 11º dia de armazenamento onde os queijos cremosos elaborados com gel ácido, apresentaram menor pseudoplasticidade que aqueles elaborados com gel enzimático.

3.5 Análise Microscópica

Observando a microestrutura das amostras elaboradas com gel ácido (7 dias de armazenamento) (Figura 4) percebe-se que a amostra controle apresentou alta permeabilidade e visível aparência de grandes poros (zonas escuras, não protéicas), o que caracteriza uma menor viscosidade, se comparada a amostra com goma xantana e menor teor de lipídico. Os domínios de proteína diminuíram na amostra com goma xantana, caracterizando o aumento de viscosidade para esta amostra (Tabela 4). De acordo com Sandoval-Castilla et al. (2004), que estudaram a substituição de gordura por amido de tapioca em iogurte, utilizando microscopia eletrônica de varredura,

observaram que as amostras sem adição de amido de tapioca, apresentaram uma rede composta por cadeias ou agregados de micelas de caseínas fundidas separadas por espaços vazios. E que, os glóbulos de gordura estariam inseridos nesta rede de proteína. Sendo que para as formulações adicionadas de amido de tapioca, as microestruturas apresentaram-se com muitos espaços vazios, mas menores se comparados com àquelas sem amido de tapioca, exibindo maior firmeza pela ação do amido em orientar as moléculas de água aumentando a viscosidade da fase contínua.

A adição de xantana no queijo cremoso resultou em uma matriz mais uniforme e menos porosa, havendo maior incorporação das proteínas, o que dificulta a separação de soro (Tabela 3), isto é observado nas microestruturas (Figura 4B), onde houve uma diminuição nas áreas não protéicas das amostras (zonas escuras). De acordo com o observado por Karlsson et al. (2007), que estudaram as características microestruturais de géis enzimáticos de leites concentrados e não concentrados, durante a coagulação e a evolução da sinerese, usando microscopia eletrônica confocal a laser, puderam observar que com o passar do tempo as amostras não concentradas, apresentaram áreas não protéicas mais amplas, caracterizando maior sinerese.

Pode-se notar também, que com a redução da concentração de creme, a amostra apresentou glóbulos de gordura de menor diâmetro. Este fato pôde ser explicado por Montesinos-Herrero et al (2006), que avaliaram a influência na reologia e microestrutura, da substituição parcial de gordura por fibras em imitação de queijo. Puderam observar que aumentando a viscosidade da fase aquosa reduz-se a frequência de colisões das gotículas de gordura e estabiliza o óleo em água em queijo, podendo

conduzir à redução da coalescência da gordura e conseqüentemente os glóbulos de gordura ficarem menores.

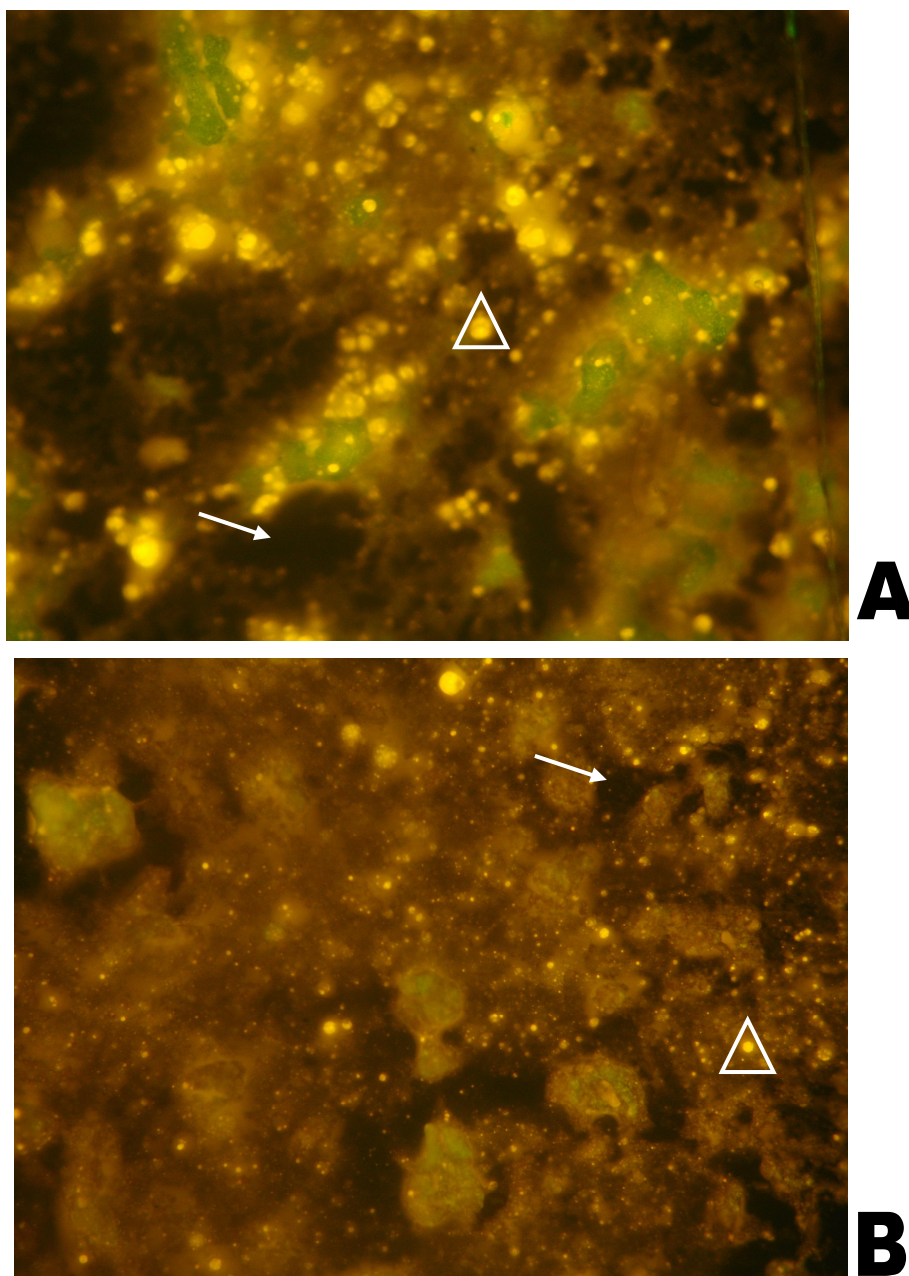


Figura 4. Microestrutura dos queijos cremosos após 7 dias de armazenamento.

A) A20 = queijo cremoso com 20% de creme e gel ácido; B) A10X = queijo cremoso com 10% de creme, gel ácido e 0,2% xantana. Magnificação: 5x a 480nm. → = poros; Δ = glóbulo de gordura.

4. Conclusão

A adição de xantana se mostrou eficiente no controle da sinerese e supriu a falta de creme, como apresentado através da microscopia de fluorescência, onde pode-se observar que, o queijo cremoso apresentou uma matriz protéica mais uniforme e menos porosa. Havendo maior interação das proteínas, dificultando a separação de soro, e aumento de viscosidade das amostras observadas através das análises reológicas. As amostras apresentaram-se como fluidos pseudoplásticos, sendo que aquelas elaboradas com gel enzimático apresentaram maior pseudoplasticidade e consistência que aquelas elaboradas com gel ácido. Demonstrando a eficiência do gel enzimático e da xantana no controle dos parâmetros dos queijos cremosos durante o armazenamento.

5. Referências

- AICHINGER P.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.; ROUVET, M.; D'AMICO, N; ZINK, R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chimosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.31, p.243-255, 2003.
- ANTUNES, A. E. C, MOTTA, E. M. P. e ANTUNES, A.J. Perfil de textura e capacidade de retenção de água de géis ácidos de concentrado protéico de soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 183-189, 2003.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.
- BANSAL, P.S.; GRIEVE, P.A.; MARSCHKE, R.J.; DALY, N.L.; McGHIE, E.; CRAIK, D.J.; ALEWOOD, P.F. Chemical synthesis and structure elucidation of bovine κ -casein (1-44). **Biochemical and Biophysical Research Communication**, v. 340, p. 1098-1103, 2006.
- BERTRAND, M. e TURGEON, S.L. Improved gelling properties of whey protein isolate by addition of xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v.21, p.159–166, 2007.
- BRAGA, A.L.M. e CUNHA, R.L. The effects of xanthan conformation and sucrose concentration on the rheological properties of acidified sodium caseinate-xanthan gels. **Food Hydrocolloids**, v.18, p.977-986, 2004.
- BRYANT, C.M. e McCLEMENTS, D.J. Influence of xanthan gum physical characteristics of heat-denatured whey protein solutions and gels. **Food Hydrocolloids**, v.14, p.383-390, 2000.
- CASTILLO, M.; LUCEY, J.A.; WANG, T.; PAYNE, F.A. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 153-163, 2006.
- DICKINSON, E. Structure formation in casein-based gels, foams, and emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 288, p. 3–11, 2006.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p.265–271, 2004.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A. S. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. **Journal of Food Engineering**, v.84, p. 368-374, 2008.

EVERETT, D. W. e McLEOD, R. E. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 1175-1183, 2005.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2 ed. Zaragoza:Acribia, 2005.

FOX, P.F. e McSWEENEY, P.L.H. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. Blackie Academic & Professional: UK, 1998. 396 p.

GRUNDELIUS, A.U.; LODAITE, K.; ÖSTERGREN, K.; PAULSSON, M.; DEJMEK, P. Syneresis of submerged single curd grains and curd rheology. **International Dairy Journal**, v.10, p. 489-496, 2000.

JEN, J.J. e ASHWORTH, U.S. Factors influencing the curd tension of rennet coagulated milk. Salt Balance. **Journal of Dairy Science**, v. 53, n.9, p.1201-1206, 1970.

KARLSSON, A.O.; IPSEN, R.; ARDÖ, Y. Rheological properties and microstructure during rennet induced coagulation of UF concentrated skim milk. **International Dairy Journal**, v.17, p. 674-682, 2007.

LAL, S.N.D.; O'CONNOR, C.J. e EYRES, L. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 123-126, p. 433-437, 2006.

LUCEY, J.A. ADSA Foundation Scholar Award. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 2, p. 281-284, 2002.

McMAHON, D.J. et al. Effects of calcium, phosphate, and bulk culture media on milk coagulation properties. **Journal Dairy Science**, v. 67, p. 939-938, 1984.

MONTESINOS-HERRERO, C.; COTTELL, D.C.; O'RIORDAN, E. D.; O'SULLIVAN, M. Partial replacement of fat by functional fibre in imitation cheese: Effects on rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.16, p. 910-919, 2006.

MOSCHAKIS, T.; MURRAY, B.S. e DICKINSON, E. Microstructural evolution of viscoelastic emulsions stabilized by sodium caseinate and xanthan gum. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 284, p. 714-728, 2005.

RAMÍREZ, J.A., BARRERA, M., MORALES, O.G., VÁZQUEZ, M. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 11-16, 2002.

ROMANCHIK-CERPOVICZ, J.E., CONSTANTINO, A.C. e GUNN, L.H. Sensory Evaluation Ratings and Melting Characteristics Show that Okra Gum Is an Acceptable Milk-Fat Ingredient Substitute in Chocolate Frozen Dairy Dessert. **Journal of the AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION**, v.106, p.594-597, 2006.

SANCHEZ, C.; ZUNIGA-LOPEZ, C.; SCHMITT, S.; DESPOND, S. e HARDY, J. Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 199-212, 2000.

SANDOVAL-CASTILLA, O.; LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-MANDEEJANO, E.; VERNON-CARTER, E.J. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 151-159, 2004.

SAVELLO, P.A. e ERNSTROM, C.A. Microstructure and meltability of model process cheese made with rennet and acid casein. **Journal Dairy Science**, v.72, p. 1-11, 1989.

SWORN, M. **Handbook Hydrocolloids**. England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2000.

TONELLI, J.T.C.L., MURR, F.E.X. e PARK, K.L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p.181-204, 2005.

VEGA, C.E. e GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.13, p. 669-677, 2005.

VEGA, C., DALGLEISH, D.G. e GOFF, H.D. Effect of k-carrageenan addition to dairy emulsions containing sodium caseinate and locust bean gum. **Food Hydrocolloids**, v.19, p.187–195, 2005.

3. Perfil reológico de queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido: influência de diferentes combinações de polissacarídeos

Perfil reológico de queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido: influência de diferentes combinações de polissacarídeos

A elaboração de queijo cremoso envolve a quebra da rede de para- κ -caseína do queijo pela ação do aquecimento e ação mecânica na presença dos sais fundentes, e estes fazem a conversão até uma massa fundida homogênea que pode imobilizar água e demais ingredientes. Durante o aquecimento, interações proteína-proteína e demais interações resultam na formação de uma nova rede tridimensional. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de polissacarídeos no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro de leite líquido. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos (pH, umidade, sólidos totais) e os reológicos, de amostras elaboradas com soro de leite líquido e diferentes combinações de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar). A combinação de polissacarídeos se mostrou efetiva no controle do comportamento reológico dos queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido, conferindo um aumento no índice de consistência das amostras, nas quais a pseudoplasticidade foi maior quando foi utilizada a combinação 0,2% de xantana / 0,2% de locusta. Demonstrando, portanto, que polissacarídeos combinados podem compensar possíveis alterações físicas ocasionadas pela adição de soro de leite líquido em queijos cremosos.

Palavras-chave: *queijo cremoso, soro de leite líquido, xantana, guar, locusta.*

1. Introdução

O consumo de queijos cremosos no mercado brasileiro de 2001 a 2005 aumentou de 7% para 17%, evidenciando o interesse do consumidor por este tipo de produto (BOURROUL, 2006). A ampla utilização do queijo cremoso como ingrediente de alimentos é devida às características funcionais, organolépticas e nutricionais apresentadas (FRANCO et al., 2005; PRUDÊNCIO, 2006). O soro de leite líquido em queijos pode apresentar diferença nas propriedades de textura, emulsificação e propriedades de fluxo (PENNA, SIVIERI e OLIVEIRA, 2001; CAMPOS et al., 2006). Sendo um produto secundário do processo de elaboração de queijos, o soro contém 98% das proteínas solúveis (β -lactoglobulina, α -lactalbumina e imunoglobulinas). O retorno econômico é observado quando essas proteínas são incorporadas aos queijos, ou convertido em ingredientes funcionais (PRUDÊNCIO et al., 2007).

Estudos utilizando estabilizantes como goma guar, locusta e xantana em produtos lácteos, são extensamente descritos na literatura. Estes polissacarídeos utilizados em iogurtes para melhorar a consistência (viscosidade), elasticidade e capacidade de retenção de água (sinereze) (SANDOVAL-CASTILLA et al., 2004; EVERETT e McLEOD, 2005; CELIBERTI et al., 2006), em sobremesas lácteas (ROMANCHIK-CERPOVICZ, CONSTANTINO e GUNN 2006), em emulsões lácteas contendo caseinato de sódio (VEJA, DALGLEISH e GOFF, 2005), em sorvetes (VEGA e GOFF, 2005; LAL, O'CONNOR e EYRES, 2006), em gel lácteo acidificado (SANCHEZ et al., 2000; BRAGA e CUNHA, 2004), em soluções aquecidas com proteínas de soro desnaturadas (BRYANT e McCLEMENTS, 2000), e em gel de proteínas de soro isoladas (BERTRAND e TURGEON, 2007).

O uso combinado de diferentes polissacarídeos pode contribuir para melhorar a textura de alimentos, mesmo quando utilizado em baixas concentrações, o efeito sinérgico contribui para melhorar as propriedades reológicas e a qualidade dos produtos quanto à homogeneização. Além disso, a combinação de polissacarídeos pode ser benéfica por proporcionar reduções nos custos de produção (CELIBERTI, SPINARDI e CHAVES, 2006). A reologia é um método bastante utilizado no controle da textura e nas estruturas física e química do queijo (NARDES et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar) no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro de leite líquido.

2. Material e Métodos

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a fabricação dos géis lácteos (Controle) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Bela Vista), coalho líquido (Bela Vista), ácido láctico (Vetec), cloreto de cálcio p.a. dihidratado (Vetec). Para a fabricação do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec), sorbato de sódio (Allimentus) creme de leite, ricota comercial e polissacarídeos: xantana – T06/748, guar – T06/747 e locusta – T06/749 (Gemacon). Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram de qualidade analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Planejamento Experimental

Os fatores que podem influenciar nas propriedades físicas e químicas das amostras de queijos cremosos – quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos – foram analisados através estatísticas descritivas (soma, média, mediana, moda, amplitude, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e quartis), avaliadas através de histograma e polígono de frequência. Um total de 48 amostras de queijos cremosos foram elaboradas em triplicatas para todas as amostras, adicionando 0,2 e 0,3% dos polissacarídeos guar, locusta e xantana, com gel ácido e enzimático separadamente. As medidas de sinerese dos queijos cremosos foram as respostas selecionadas para a obtenção das formulações ideais para este estudo. Os fatores e as proporções analisados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.

Ingredientes	Formulações*					
	A1	A2	A3	E1	E2	E3
Soro líquido	25%	35%	45%	35%	45%	55%
Polissacarídeos (guar, locusta e xantana)	0,2 e 0,3%					

* Formulações A1, A2, A3 – massas básicas obtidas por coagulação ácida. Formulações E1, E2, E3 - massas básicas obtidas por coagulação enzimática.

2.2.2 Elaboração do gel lácteo enzimático

Ao leite pasteurizado tipo C (42 °C) foi adicionado: fermento lácteo liofilizado (0,2%), cloreto de cálcio 50 % p/v (0,4 %) e coalho líquido (0,08 %). A etapa de coagulação foi realizada em estufa (37 °C/ 40-60 minutos), seguida de dessoragem e fermentação *over-night* a temperatura ambiente (25 °C).

2.2.3 Elaboração do queijo cremoso

A fusão do gel lácteo foi realizada a 90 °C, com adição de citrato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1 %). Após foi adicionado creme de leite (20%), ricota (50 %), soro de leite líquido (45 %), sorbato de potássio (0,1 %) e polissacarídeos com diferentes percentuais, percentuais calculados em relação a massa total (gel lácteo e ricota).

Foram obtidas sete diferentes amostras: 1 - amostra Controle - queijo cremoso sem polissacarídeos; 2 - amostra QCXL1 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,1% de locusta; 3 - amostra QCXL2 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,2% de locusta; 4 – amostra QCXL3 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,3% de locusta; 5 - amostra QCXG1 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,1% de guar; 6 - amostra QCXG2 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,2% de guar; 7 - amostra QCXG3 – queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,3% de guar.

As amostras foram envasadas em recipientes de polipropileno e armazenadas em temperatura de refrigeração (5 ± 1 °C).

2.2.4 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de umidade, sólidos totais e pH foram realizadas de acordo com AOAC (2005), após 7 dias de armazenamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.5 Medidas reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc[®] 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a 5 ± 1 °C. As análises reológicas foram realizadas nas amostras armazenadas por 7, 15 e 21 dias. A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento linear da taxa de deformação (curvas de ida) de 5,6 a 11,5 s⁻¹ para o controle e 0,6 a 6,4 s⁻¹ para os queijos com polissacarídeos, nos primeiros 30 minutos de análise, retornando para as taxas iniciais (curvas de volta) nos 30 minutos posteriores. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata.

Foram utilizados quatro modelos reológicos, adaptados matematicamente, para descrever o comportamento de fluxo das amostras, o modelo de Bingham (1), de Lei de Potência (2), de Casson (3) e de Herschel-Bulkley (4).

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{1}{\eta_{pl}} \dot{\gamma} \quad (1)$$

Sendo: σ_0 - limite de escoamento (Pa); η_{pl} - viscosidade plástica (Pa.s); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); σ - tensão de cisalhamento (Pa).

$$\sigma = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^n} \quad (2)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); K - índice de consistência ($Pa.s^n$); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

$$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + \eta_{\infty}^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad (3)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); Kc - viscosidade plástica de Casson (Pa.s); K_{oc} - limite de escoamento (Pa).

$$\sigma - \sigma_0 = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^n} \quad (4)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); σ_0 - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K - índice de consistência ($Pa.s$); n - índice do comportamento de fluxo (adimensional) e $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}).

2.2.6 Análise estatística

A análise estatística dos valores médios obtidos nas análises físico-químicas e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi realizada por Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 5% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab® (versão 7.5).

3. Resultados e Discussão

3.1 Planejamento experimental

O efeito das combinações entre os fatores de quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos foram avaliadas utilizando estatísticas descritiva, histograma e polígono de frequência. Os resultados obtidos entre as combinações dos fatores e o índice de sinerese estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

É importante observar na Figura 1 que, os valores mais freqüentes estão presentes no quartil inferior, ou seja nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 22. Dentre as melhores formulações, ou seja, que apresentaram menores teores de sinerese após 7 dias de armazenamento, obteve-se aquelas com 35% e 45% de soro, com 0,2% de xantana para os dois tipos de géis lácteos.

Os valores mais freqüentes na Figura 2, estão presentes no quartil inferior, ou seja, nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 3,5% (Figura 2). Demonstrando que as melhores formulações foram os queijos cremosos com 35% de soro com 0,3% de guar e/ou locusta, para aqueles elaborados com coalhada enzimática. E aqueles queijos elaborados com coalhada ácida, demonstraram menor teor de sinerese, para os que foram elaborados com 45% de soro e 0,3% de guar e/ou locusta.

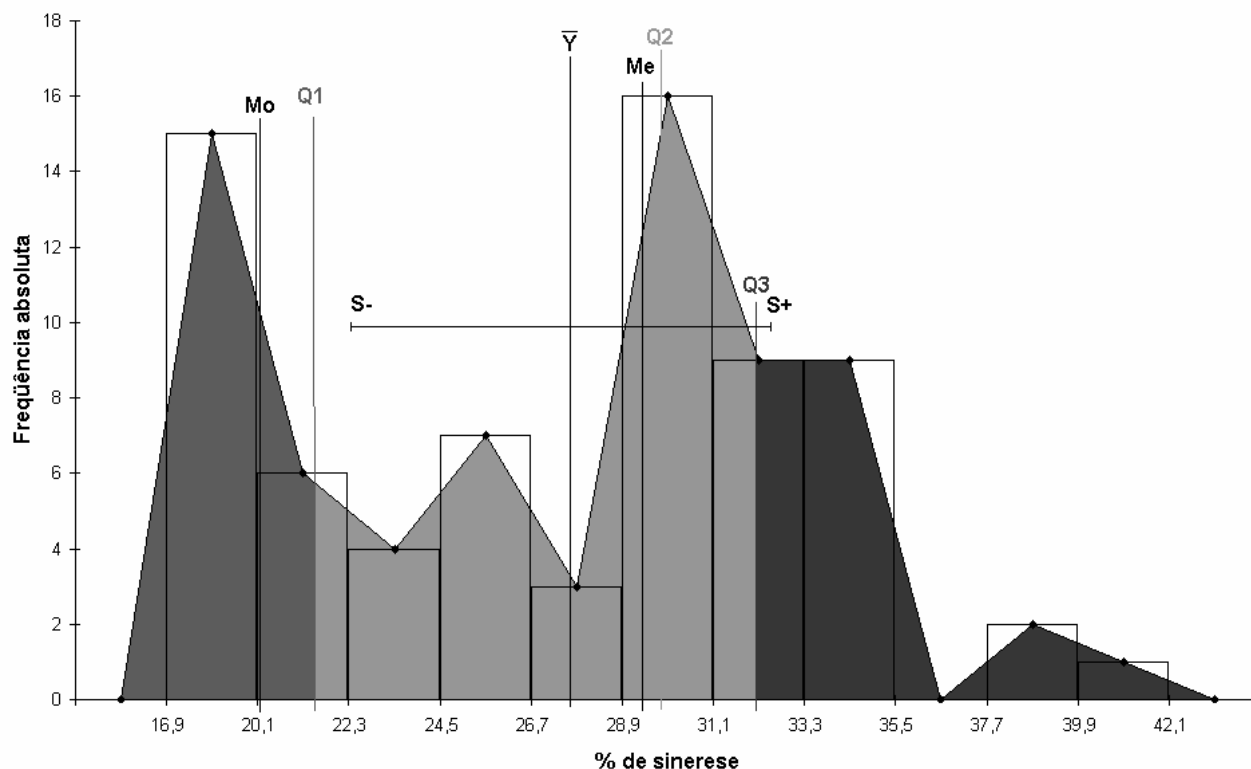


Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

Para este estudo, teve-se como base as formulações de queijos cremosos com 45% de soro líquido para os dois tipos de géis lácteos. Trabalhando com os géis enzimáticos, para este teor de soro, a xantana foi selecionada (base) e então combinada com os outros polissacarídeos (guar e locusta).

Os valores médios obtidos na caracterização físico-química dos queijos cremosos elaborados com polissacarídeos combinados estão apresentados na Tabela 2.

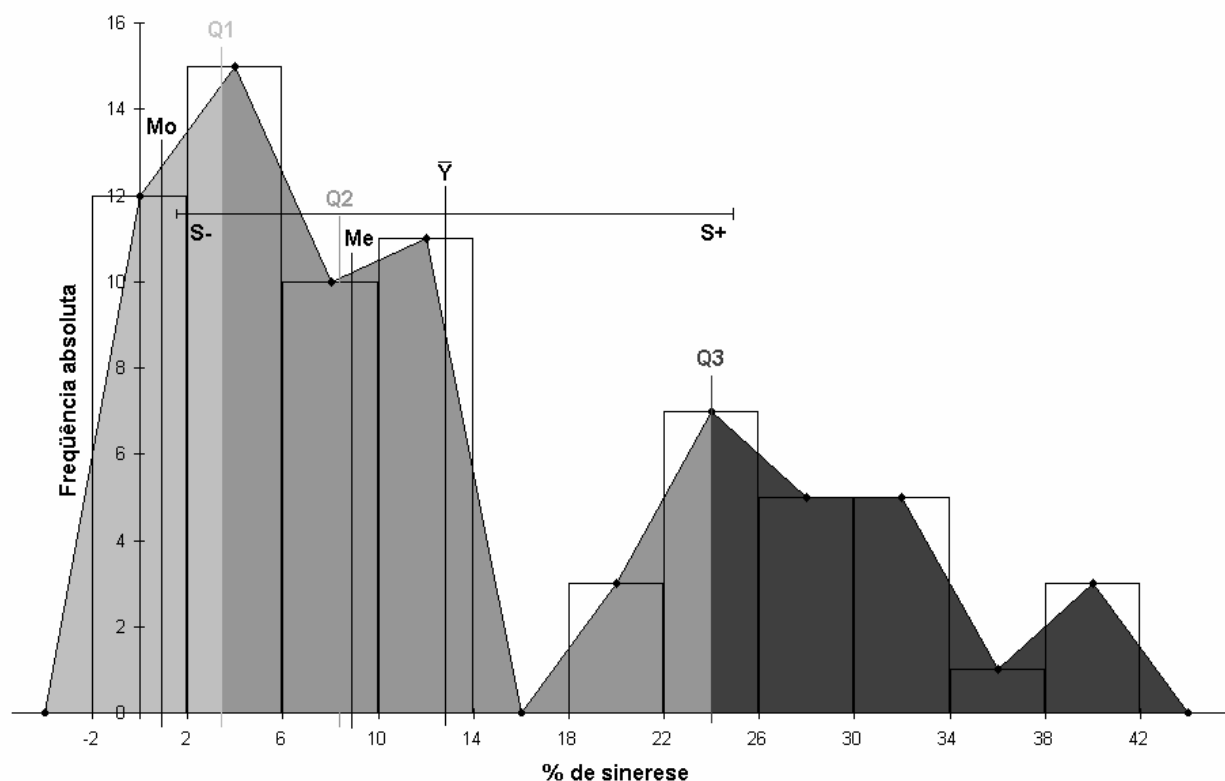


Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

As amostras de queijos cremosos apresentaram valores de pH entre 5,68 e 5,91. As amostras adicionadas de polissacarídeos resultaram em maior teor de sólidos totais quando comparadas com a Controle, esta diferença influenciou nos índices de comportamento de fluxo (n) obtidos pelo modelo de lei de Potência (Tabela 3), como pode ser observado na Figura 3. De acordo com Dimitreli e Thomareis (2004) que avaliaram a viscosidade aparente de queijo processado, o aumento do teor de umidade resulta no aumento da mobilidade das moléculas de proteína por rotação, e as macromoléculas se orientam na direção do fluido, mas com menor dependência ao aumento da taxa de deformação. No caso dos polissacarídeos adicionados às amostras

dos queijos cremosos, o aumento no teor de sólidos, e conseqüente redução no teor de umidade, conferiu às amostras uma aumento no índice de comportamento de fluxo (menos pseudoplástico) e vice-versa.

Os parâmetros reológicos dos queijos cremosos estão apresentados nas Tabelas 3 (curvas de ida) e 4 (curvas de volta) e a Figura 2 apresenta as curvas de fluxo (ida e volta).

A característica da relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação é demonstrada pela curva de histerese; a área entre as curvas de ida e volta, revelou o efeito tixotrópico, que caracteriza que o comportamento reológico é dependente do tempo (TONELLI, MURR e PARK, 2005). A adição de polissacarídeos conferiu maior grau de histerese às amostras durante o período de armazenamento, justificada pela capacidade que possuem de reter água, formando um gel firme, aumentando a viscosidade (MARUYAMA et al., 2006) e conseqüentemente a histerese. Os reogramas demonstram que as amostras se comportaram como fluidos não-Newtonianos com presença de tixotropia, como o resultado da quebra da estrutura, resultados semelhantes aos encontrados por Penna, Sivieri e Oliveira (2001), que avaliaram o comportamento reológico de bebidas lácteas e por Gauche (2007), que avaliou o comportamento reológico de iogurte.

O decréscimo na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, significa que a resistência dos queijos cremosos ao escoamento e a energia requerida para mantê-los a uma alta taxa de deformação, é reduzida, como podemos observar na Figura 5. O coeficiente de correlação (R) para os modelos variou de 0,66 a 0,99, de 0,79 a 0,99 e de 0,56 a 0,99 para as amostras armazenadas

durante 7, 15 e 21 dias, respectivamente. O que permitiu classificar o modelo de lei de Potência como o mais adequado para descrever o comportamento de fluxo de todas as amostras, nas curvas de ida. E nas curvas de volta, todos os modelos apresentaram adequada correlação com os dados.

Analizando as curvas de ida e volta (Figura 4), a adição de polissacarídeos melhorou a adequação dos modelos aos dados se comparado com o Controle. As amostras padrões armazenadas por 15 dias, apresentaram diminuição linear da tensão de cisalhamento proporcional ao aumento da taxa de deformação na curva de ida, possivelmente pela quebra de ligações que estabilizam a rede protéica, conseqüentemente para estas amostras o modelo de Herschel-Bulkley, não pode ser utilizado para descrever o comportamento de fluxo.

Tabela 2. Análises físico-químicas das amostras de queijo cremoso *.

Amostras**	pH	Sólidos totais (%)	Umidade (%)
Controle	5,91 ^a (± 0,03)	29,97 ^a (± 0,26)	70,03 ^a (± 0,21)
QCXL1	5,68 ^{bc} (± 0,01)	32,76 ^b (± 0,33)	67,17 ^b (± 0,33)
QCXL2	5,74 ^{bc} (± 0,03)	33,51 ^c (± 0,48)	66,49 ^c (± 0,48)
QCXL3	5,68 ^{bc} (± 0,08)	32,18 ^b (± 0,63)	67,82 ^b (± 0,63)
QCXG1	5,89 ^{ac} (± 0,01)	33,31 ^c (± 0,81)	66,69 ^c (± 0,81)
QCXG2	5,75 ^{bc} (± 0,05)	31,37 ^a (± 0,17)	68,63 ^a (± 0,17)
QCXG3	5,72 ^{bc} (± 0,04)	33,97 ^d (± 1,24)	66,03 ^d (± 1,24)

* Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. ** QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

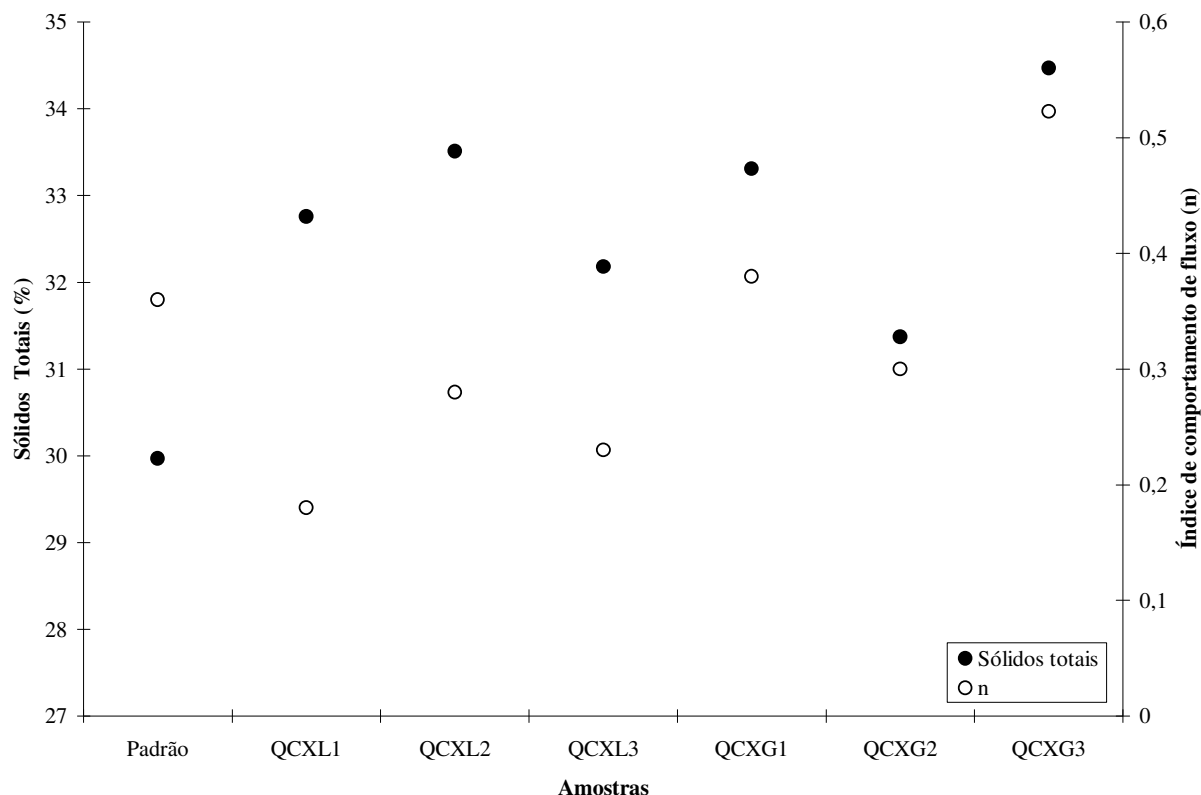


Figura 3. Interação entre percentual de sólidos totais e índice de comportamento de fluxo para as amostras de queijos cremosos com 7 dias de armazenamento. Média de três repetições. Controle; QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante 21 dias de armazenamento (Continua)*.

Armaze- namento	Parâmetros* *	Amostras***						
		Control e	QCXL 1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3
7 dias	Histerese	9,31 ^a _a	22,85 ^a _b	36,47 ^a _c	24,99 ^a _d	24,58 ^a _d	21,54 ^a _b	12,16 ^a _e
	Bingham	σ_0	13,46 ^a _a	38,24 ^a _b	92,65 ^a _c	59,18 ^a _d	33,95 ^a _e	51,34 ^a _f
		η_{pl}	3,06 ^a _a	9,10 ^a _b	27,47 ^a _c	18,91 ^a _d	18,36 ^a _d	19,27 ^a _e
		R	0,66	0,96	0,71	0,96	0,94	0,83
	Lei de potência	K	15,15 ^a _a	48,10 ^a _b	123,03 ^a _c	79,96 ^a _d	54,02 ^a _e	72,55 ^a _f
		n	0,36 ^a _a	0,18 ^a _b	0,28 ^a _c	0,23 ^a _c	0,38 ^a _a	0,30 ^a _a
		R	0,71	0,97	0,85	0,99	0,98	0,92
	Casson	σ_0	8,53 ^a _a	31,32 ^a _b	66,44 ^a _c	46,29 ^a _d	21,18 ^{ae}	35,59 ^{af}
		K	1,06 ^a _a	1,32 ^a _{ab}	2,86 ^a _{bc}	2,16 ^a _{bc}	2,71 ^a _{abc}	2,48 ^a _c
		R	0,69	0,97	0,78	0,98	0,96	0,88
	Herschel -Bulkley	K	7,02 [*] _a	16,38 ^a _b	55,03 ^a _c	32,80 ^a _d	31,94 ^a _d	36,57 ^a _e
		n	0,64 [*] _{abcd}	0,56 ^a _c	0,73 ^a _{bd}	0,63 ^a _{abd}	0,78 ^a _{bd}	0,58 ^a _a
		R	0,72	0,97	0,76	0,97	0,95	0,86
15 dias	Histerese	12,33 ^b _a	13,55 ^{bb}	30,16 ^{bc}	17,21 ^{bd}	19,60 ^{be}	28,07 ^{bf}	23,02 ^{bg}
	Bingham	σ_0	28,59 ^b _a	35,36 ^b _b	68,69 ^b _c	38,49 ^b _d	46,26 ^b _e	49,88 ^b _f
		η_{pl}	2,71 ^b _a	29,39 ^b _b	16,59 ^b _c	14,15 ^b _d	28,63 ^b _b	24,70 ^b _e
		R	0,81	0,89	0,95	0,84	0,88	0,83
	Lei de potência	K	27,97 ^b _a	66,95 ^b _b	86,84 ^b _c	54,09 ^b _d	77,18 ^b _e	76,81 ^b _e
		n	0,28 ^b _a	0,49 ^b _{bef}	0,18 ^b _c	0,29 ^a _d	0,43 ^b _{eg}	0,38 ^b _{df}
		R	0,79	0,94	0,99	0,92	0,96	0,92
	Casson	σ_0	36,88 ^b _a	18,46 ^b _b	57,66 ^b _c	27,23 ^b _d	25,02 ^b _e	30,98 ^b _f
		K	0,87 ^b _a	3,79 ^b _b	1,79 ^b _c	2,08 ^b _c	3,69 ^b _b	2,09 ^b _c
		R	0,80	0,92	0,97	0,88	0,94	0,87
	Herschel -Bulkley	K	-	47,12 ^b _a	28,35 ^b _b	26,16 ^b _c	50,80 ^b _d	29,72 ^b _b
		n	-	0,59 ^b _a	0,57 ^b _b	0,42 ^b _c	0,55 ^b _a	0,52 ^b _a
		R	-	0,89	0,94	0,84	0,95	0,87

Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante 21 dias de armazenamento (Continua)*.

Armaze- namento	Parâmetros**	Amostras***						
		Controle	QCXL1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3
21 dias	Histerese	10,25 ^c _a	12,12 ^b _b	35,55 ^c _c	35,00 ^{cc}	30,82 ^{cd}	25,21 ^{ce}	25,55 ^{ce}
	σ_0	40,39 ^c _a	34,08 ^c _b	77,63 ^c _c	43,16 ^c _d	27,05 ^c _e	51,14 ^a _f	52,53 ^c _g
	Bingham η_{pl}	3,20 ^c _a	8,66 ^c _b	19,99 ^c _c	14,60 ^b _d	30,89 ^c _e	27,77 ^c _f	34,07 ^b _g
	R	0,56	0,81	0,95	0,87	0,97	0,93	0,91
	Lei de K	37,77 ^c _a	56,43 ^c _b	99,68 ^c _c	59,29 ^c _d	59,95 ^c _d	81,38 ^c _e	89,78 ^c _f
	n	0,16 ^c _a	0,45 ^b _{be}	0,21 ^a _c	0,27 ^a _c	0,22 ^c _c	0,38 ^b _d	0,32 ^c _d
	R	0,57	0,89	0,99	0,94	0,99	0,97	0,96
	σ_0	50,47 ^c _a	18,91 ^b _b	61,54 ^c _c	32,18 ^c _d	12,71 ^c _e	31,68 ^c _d	29,88 ^b _f
	Casson K	0,84 ^b _a	3,10 ^c _b	2,09 ^c _c	2,05 ^b _c	4,11 ^c _d	3,33 ^c _b	3,91 ^c _b
	R	0,56	0,86	0,98	0,89	0,98	0,95	0,94
	Herschel K	-	36,44 ^c _a	37,99 ^c _b	27,15 ^c _c	46,51 ^c _d	38,54 ^c _e	59,26 ^c _f
	-Bulkley n	-	0,25 ^b _a	0,52 ^c _a	0,52 ^a _a	0,54 ^b _a	2,08 ^c _b	0,56 ^b _a
	R	-	0,86	0,99	0,92	0,97	0,95	0,91

*Valores dentro das colunas não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação representam a relação entre as formulações. Média de duas repetições.

** σ_0 = limite de escoamento (Pa); η_{pl} = viscosidade plástica (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento de fluxo; R = coeficiente de correlação. *** QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

Tabela 4. Parâmetros reológicos (curvas de volta) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante os 21 dias de armazenamento (Continua)*.

Armaze- namento	Parâmetros**		Amostras***						
			Controle	QCXL1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3
7 dias	Bingham	σ_0	1,07 ^a _a	15,22 ^a _b	61,49 ^a _c	35,43 ^a _d	17,84 ^a _e	32,03 ^a _f	39,38 ^a _g
		η_{pl}	5,54 ^a _a	19,44 ^a _b	35,92 ^a _c	30,48 ^a _d	23,98 ^a _e	28,10 ^a _f	39,57 ^a _g
		R	0,94	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lei de potência	K	6,37 ^a _a	35,78 ^a _b	100,42 ^a _c	68,13 ^a _d	43,23 ^a _e	62,19 ^a _f	81,65 ^a _g
		n	0,92 ^a _a	0,47 ^a _b	0,31 ^a _c	0,39 ^a _b	0,49 ^a _b	0,40 ^a _b	0,43 ^a _b
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Casson	σ_0	0,09 ^a _a	7,94 ^a _b	42,00 ^a _c	21,11 ^a _d	8,88 ^a _e	18,71 ^a _f	22,08 ^a _d
		K	2,23 ^a _a	3,12 ^a _b	3,47 ^a _c	3,59 ^a _c	3,54 ^a _c	3,49 ^a _c	4,26 ^a _d
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Herschel- Bulkley	K	6,29 ^a _a	27,46 ^a _b	57,29 ^a _c	46,26 ^a _d	33,90 ^a _e	42,78 ^a _f	58,67 ^a _g
		n	0,92 ^a _a	0,65 ^a _b	0,62 ^a _b	0,64 ^a _b	0,67 ^a _b	0,65 ^a _b	0,65 ^a _b
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
15 dias	Bingham	σ_0	1,78 ^b _a	35,68 ^b _b	33,66 ^b _c	20,15 ^b _d	24,08 ^b _e	38,94 ^b _f	43,64 ^b _g
		η_{pl}	5,11 ^b _a	24,12 ^b _b	35,04 ^b _c	21,59 ^b _d	32,85 ^b _e	37,69 ^b _f	44,98 ^b _g
		R	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lei de potência	K	6,89 ^a _a	61,60 ^b _b	71,01 ^b _c	43,15 ^b _d	58,84 ^b _e	75,24 ^b _f	91,75 ^b _g
		n	0,85 ^b _a	0,55 ^b _b	0,43 ^b _c	0,44 ^a _c	0,49 ^a _c	0,42 ^a _c	0,49 ^a _c
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Casson	σ_0	0,85 ^b _a	23,51 ^b _b	18,80 ^b _c	11,14 ^b _d	11,95 ^b _d	22,22 ^b _e	24,06 ^b _b
		K	2,07 ^b _a	2,94 ^a _a	4,02 ^a _{bc}	3,18 ^b _b	4,15 ^b _{bc}	4,12 ^b _c	4,59 ^b _c
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Herschel- Bulkley	K	6,15 ^b _a	37,25 ^b _b	51,43 ^b _c	31,54 ^b _d	46,29 ^b _e	16,15 ^b _f	66,75 ^b _g
		n	0,89 ^b _a	0,75 ^b _b	0,64 ^a _c	0,65 ^a _c	0,67 ^a _c	0,64 ^a _c	0,65 ^a _c
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Tabela 4. Parâmetros reológicos (curvas de volta) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante os 21 dias de armazenamento*.

Armaze- namento	Parâmetros**		Amostras***						
			Controle	QCXL1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3
21 dias	Bingham	σ_0	20,92 ^c _a	26,31 ^c _b	43,64 ^c _c	15,32 ^c _d	24,13 ^b _e	33,04 ^c _f	37,37 ^c _g
		η_{pl}	2,58 ^c _a	14,02 ^c _b	33,93 ^c _c	31,55 ^c _d	31,30 ^c _d	34,17 ^c _c	37,74 ^c _e
		R	0,84	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lei de potência	K	25,52 ^b _a	41,47 ^c _b	80,09 ^c _c	43,21 ^b _d	57,35 ^c _e	69,03 ^c _f	77,68 ^c _g
		n	0,89 ^c _a	0,69 ^a _b	0,67 ^c _b	0,54 ^b _c	0,49 ^a _d	0,44 ^a _e	0,43 ^a _e
		R	0,84	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Casson	σ_0	2,74 ^c _a	18,51 ^c _b	27,38 ^c _c	6,82 ^c _d	11,89 ^b _e	18,26 ^a _b	20,92 ^c _f
		K	2,10 ^b _a	2,11 ^b _a	3,67 ^a _b	3,91 ^c _b	4,06 ^b _b	3,99 ^c _b	4,17 ^a _b
		R	0,84	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Herschel- Bulkley	K	20,63 ^b _a	22,41 ^c _b	51,81 ^b _c	25,99 ^c _d	44,89 ^c _e	30,51 ^c _c	55,91 ^c _f
		n	0,84 ^c _a	0,66 ^a _b	0,63 ^a _b	0,69 ^a _b	0,68 ^a _b	0,65 ^a _b	0,65 ^a _b
		R	0,84	0,96	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

*Valores dentro das colunas não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey, letras sobrescritas (à esquerda) representam a relação entre os dias de armazenamento; letras subscritas (à direita) representam a relação entre as formulações. Média de duas repetições. ** σ_0 = limite de escoamento (Pa); η_{pl} = viscosidade plástica (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento de fluxo; R = coeficiente de correlação. *** QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

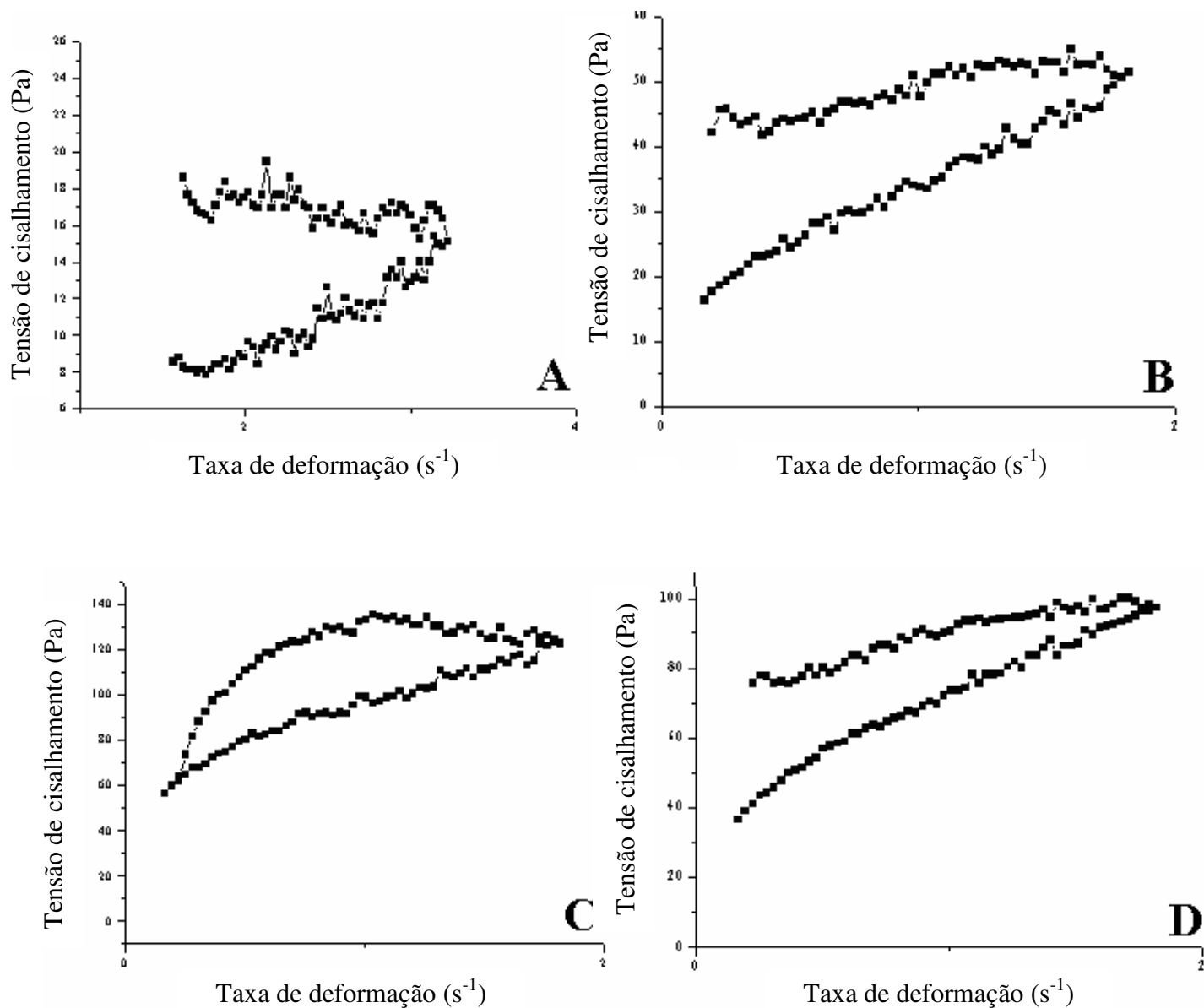


Figura 4. Relação entre tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação das curvas de fluxo (ida e volta) do queijo cremoso (Continua).

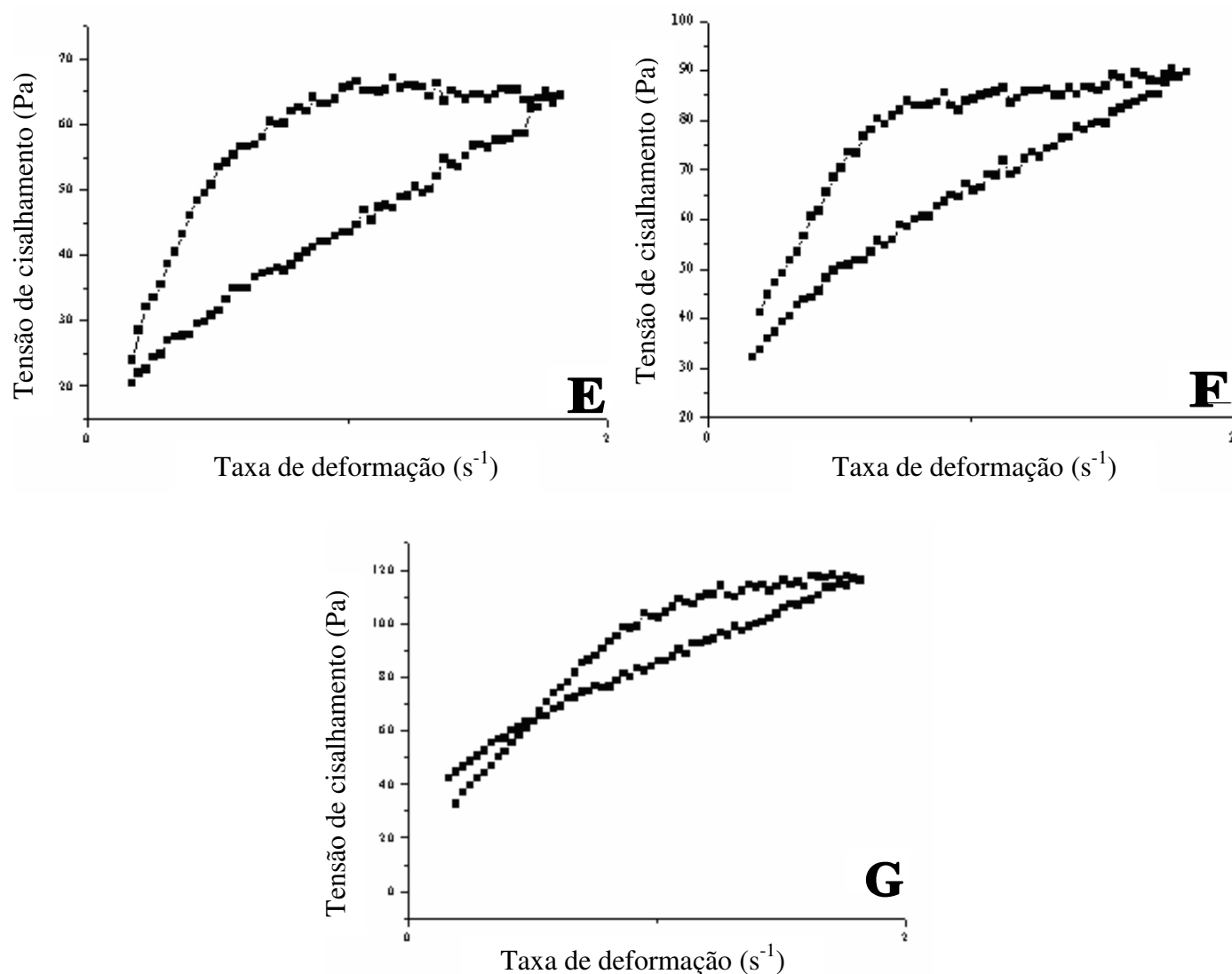


Figura 4. Relação entre tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação das curvas de fluxo (ida e volta) do queijo cremoso.

A) Controle. B) QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta. C) QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta. D) QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta. E) QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar. F) QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar. G) QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar. As curvas representam os valores médios (viscosidade aparente) durante os 21 dias de armazenamento.

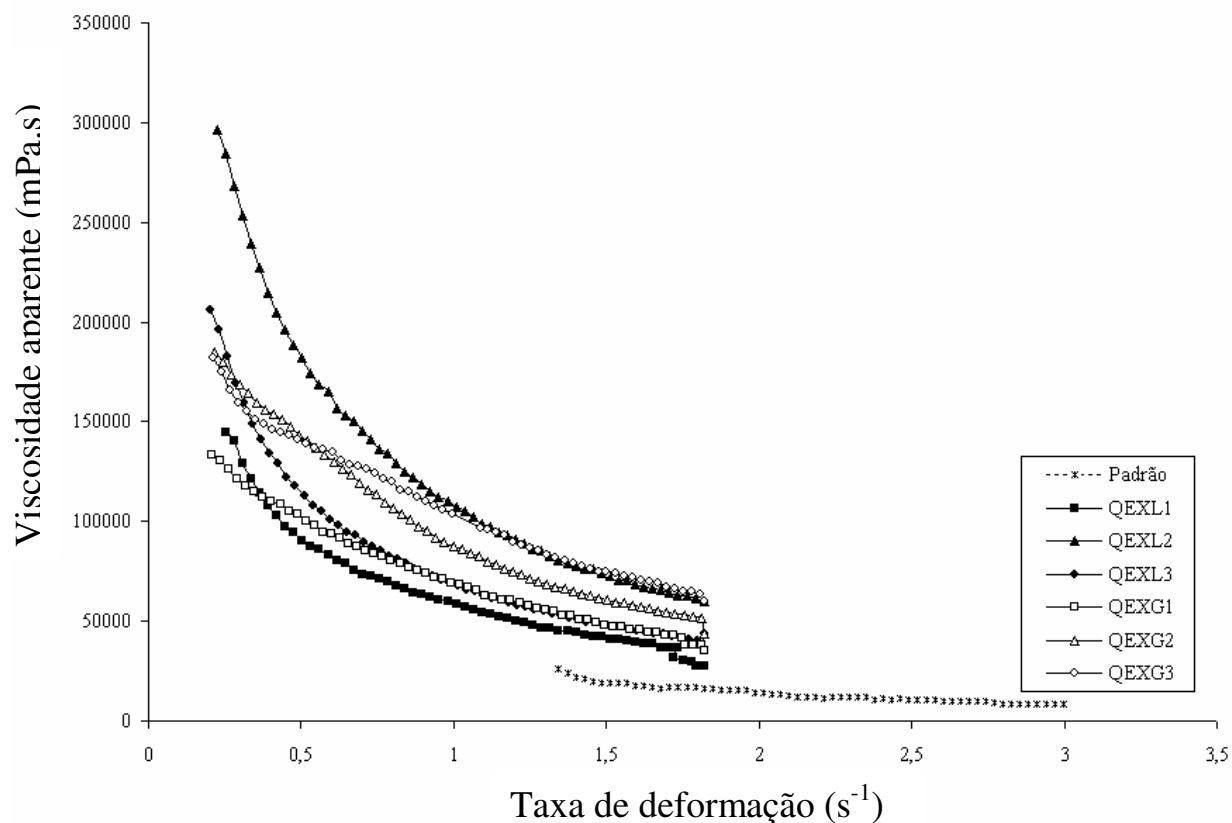


Figura 5. Curva de fluxo dos queijos cremosos com polissacarídeos combinados.

Valores médios de viscosidade aparente durante os 21 dias de armazenamento. Controle; QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

Os valores de índice de comportamento de fluxo (n), obtidos pela Lei de Potência nas curvas de ida (aumento da taxa de deformação) (Tabela 3), variaram de 0,18 a 0,56 ($n < 1$), destacando o comportamento pseudoplástico dos queijos cremosos. Sendo que, nas amostras armazenadas durante 7 dias, a combinação xantana/guar conferiu menor pseudoplasticidade quando comparadas com a combinação xantana/locusta.

O sinergismo pode ser observado entre locusta e xantana, o que pode ser atribuído à habilidade desses dois polissacarídeos de adotar uma conformação helicoidal formando ligações cruzadas. A formação sinérgica de gel pode ser observada também com guar, mas com menor habilidade se comparado com a locusta. Isto pode ser atribuído a menor proporção manose/galatose da guar, que está disponível para realizar ligações de hidrogênio com outros polissacarídeos (SWORN, 2000; PAI e KHAN, 2002; RAMSDEN, 2004).

Analisando a Tabela 3, os valores de índices de consistência (K) calculados pelo modelo de Lei de Potência variaram de 13,46 a 123,03 Pa.sⁿ. Foi observada diferença significativa entre as amostras adicionadas de polissacarídeos e a amostra Controle. As amostras QEXL2 (xantana 0,2 % / locusta 0,2 %) após 21 dias de armazenamento apresentaram o maior valor para índice de consistência, o que pode também ser evidenciado pela Figura 5. Quanto ao limite de escoamento obtido pelo modelo de Casson, observamos que as amostras após 7 dias de armazenamento apresentaram diferença significativa entre as adicionadas de polissacarídeos e a Controle (Tabela 3). Houve um aumento significativo deste parâmetro somente para a amostra Controle ao longo do período de armazenamento. A adição de polissacarídeos promoveu o aumento do grau de histerese para todas as amostras e períodos analisados.

O comportamento reológico das amostras após a diminuição da taxa de deformação (curva de volta) pode ser observado na Tabela 4. Utilizando tanto o modelo Lei de Potência como o de Herschel-Bulkley, o índice de consistência (K), variou de 6,15 a 100,42 Pa.sⁿ sendo que houve aumento significativo ($p < 0,05$) para as amostras adicionadas de polissacarídeos se comparadas com a amostra Controle

durante todo o período de armazenamento. Comparando com as curvas de ida (Tabela 3), as curvas de volta (Tabela 4) apresentaram menor índice de consistência. Quando comparados os índices de comportamento de fluxo (n), as curvas de volta apresentaram valores maiores que aqueles das curvas de ida, com conseqüente diminuição da pseudoplasticidade das amostras. Estes comportamentos podem ser atribuídos à quebra estrutural da rede protéica dos queijos cremosos.

O modelo de Bingham também se adequou aos dados coletados (curvas de volta, Tabela 4), apresentando coeficientes de correlação (R) de 0,84 a 0,99. Assim como os materiais que seguem o modelo de Herschel-Bulkley, os plásticos de Bingham caracterizam-se por apresentarem uma tensão residual ou limite de escoamento, abaixo da qual se comportam como sólidos. Para tensões superiores à tensão residual, no entanto, os fluidos apresentam um comportamento Newtoniano (TONELLI, MURR e PARK, 2005). Mesmo com a diminuição da taxa de deformação, os polissacarídeos conferiram maior pseudoplasticidade às amostras se comparadas ao Controle. A amostra Controle adquiriu características próximas das requeridas para um fluido Newtoniano ($n = 1$) durante todo o período de armazenamento.

Em relação ao limite de escoamento os polissacarídeos conferiram às amostras um aumento significativo ($p < 0,05$) neste parâmetro, se comparados com a amostra Controle.

4. Conclusão

A adição de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar), na elaboração de queijos cremosos com soro de leite líquido, conferiu um aumento nos índices de consistência, sólidos totais e índice de comportamento de fluxo, havendo uma relação entre esses dois últimos parâmetros, que pode ser atribuído ao aumento da mobilidade das moléculas de proteína em direção ao fluxo. As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico com tixotropia. Analisando as amostras com polissacarídeos, quanto à pseudoplasticidade, esta foi maior quando utilizado a combinação de 0,2% xantana / 0,2% locusta. Os parâmetros reológicos confirmam que os polissacarídeos combinados podem ser utilizados para compensar as possíveis alterações físicas ocasionadas pela adição do soro de leite líquido em queijos cremosos.

5. Referências

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.

BERTRAND, M. e TURGEON, S.L. Improved gelling properties of whey protein isolate by addition of xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v.21, p.159–166, 2007.

BOURROUL, G. O potencial da cadeia láctea brasileira. **Revista Leite e Derivados**, nov./dez. 2006.

BRAGA, A.L.M. e CUNHA, R.L. The effects of xanthan conformation and sucrose concentration on the rheological properties of acidified sodium caseinate-xanthan gels. **Food Hydrocolloids**, v.18, p.977-986, 2004.

BRYANT, C.M. e McCLEMENTS, D.J. Influence of xanthan gum physical characteristics of heat-denatured whey protein solutions and gels. **Food Hydrocolloids**, v.14, p.383-390, 2000.

CAMPOS, M.E.M. et al. Sobremesas fermentadas: uma inovação para agregar valor ao soro de queijo minas frescal. **Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios**, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p.243-246, jul/ago 2006.

CELIBERTI, A. A.; SPINARDI, K.; CHAVES, L.A. Processamento de Petit Suisse sem formação do subproduto soro ácido: uma inovação tecnológica para indústria de laticínios. **Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios**, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p.114-116, jul/ago 2006.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 265-271, 2004.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v.79, p. 1364-1373, 2007.

EVERETT, D. W. e McLEOD, R. E. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 1175-1183, 2005.

FRANCO, J.; ZIMMERMANN, J.V.; POSSIK, P.; TAHA, P.; TEIXEIRA, E.; BORDIGNON-LUIZ, M.T. Características físico-químicas e sensoriais de requeijão culinário adicionado de goma xantana com aplicação em produtos prontos para o consumo. **Revista Instituto Laticínio Cândido Tostes**, Juiz de Fora, nº 342, v. 60, p. 13-19, jan/fev 2005.

GAUCHE, C. **Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas de iogurte elaborado após tratamento enzimático**. 2007. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).

LAL, S.N.D.; O'CONNOR, C.J. e EYRES, L. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 123-126, p. 433-437, 2006.

MARUYAMA, L.Y.; CARDARELLI, H.R.; BURITI, F.C.A; SAAD, S.M.I. Textura instrumental de queijo *petit suisse* potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26(2), p. 386-393, abr./jun., 2006.

NARDES, R.E.F. et al. Características reológicas do queijo Zamorano com modificações na temperatura de maturação. **Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios**, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p.29-37, jul/ago 2006.

PAI, V.B. e KHAN, S.A. Gelation and rheology of xanthan/enzyme-modified guar blends. **Carbohydrate Polymers**, v.49, p. 207-216, 2002.

PENNA, A.L.B.; SIVIERI, K. e OLIVEIRA, M.N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 7-13, 2001.

PRUDÊNCIO, I.D. **Propriedades físicas de queijo *Petit Suisse* elaborado com retentado de soro de queijo e estabilidade de antocianinas e betalainas**

adicionadas. 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).

PRUDÊNCIO, I. D., PRUDÊNCIO, E., GRIS, E. F., TOMAZONI, T., BORDIGNON-LUIZ, M.T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology** (2007), doi:10.1016/j.lwt.2007.05.019

RAMSDEN, L. **Plant and algal gums and mucilages**. Chemical and functional properties of food saccharides. CRC Press LLC: USA, 2004.

ROMANCHIK-CERPOVICZ, J.E., CONSTANTINO, A.C. e GUNN, L.H. Sensory evaluation ratings and melting characteristics show that okra gum is an acceptable milk-fat ingredient substitute in chocolate frozen dairy dessert. **Journal of the AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION**, v.106, p.594-597, 2006.

SANCHEZ, C.; ZUNIGA-LOPEZ, C.; SCHMITT, S.; DESPOND, S. e HARDY, J. Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 199-212, 2000.

SANDOVAL-CASTILLA, O.; LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-MANDEEJANO, E.; Vernon-Carter, E.J. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 151-159, 2004.

STEEL, R.G.; TORRIE, J.H. e DICKEY, D.A. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. USA: WCB McGraw-Hill, 1997. 3^a ed.

SWORN, M. **Handbook Hydrocolloids**. England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2000.

TONELLI, J.T.C.L., MURR, F.E.X. e PARK, K.L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p.181-204, 2005.

VEGA, C. e GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.15, p. 249-254, 2005.

VEGA, C., DALGLEISH, D.G. e GOFF, H.D. Effect of k-carrageenan addition to dairy emulsions containing sodium caseinate and locust bean gum. **Food Hydrocolloids**, v.19, p.187–195, 2005.

4. Caracterização reológica de queijos cremosos elaborados com gel ácido, polissacarídeos e soro de leite líquido

Caracterização reológica de queijos cremosos elaborados com gel ácido, polissacarídeos e soro de leite líquido

A caracterização reológica de queijos cremosos é importante para estudar a estrutura como função da composição, técnicas de processamento e condições de armazenamento, bem como determinar parâmetros que controlem a estrutura e textura, como indicadores de qualidade do produto. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de polissacarídeos no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro de leite líquido durante 21 dias de armazenamento. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos (pH, umidade, sólidos totais) e os reológicos (histerese, índice de consistência e índice de comportamento de fluxo), das amostras elaboradas com soro de leite líquido e combinações de polissacarídeos (xantana / locusta / guar). Foi observada uma interação diretamente proporcional entre o teor de umidade e índice de comportamento de fluxo (n), para as amostras com polissacarídeos combinados. A amostra com polissacarídeos combinados, xantana e locusta, na proporção de 0,2% e 0,3%, respectivamente, apresentaram os maiores valores de índice de consistência (K). A maior viscosidade aparente para a amostra, pode ser observada nas curvas de fluxo, a partir de 15 dias de armazenamento.

Palavras-chave: *queijo cremoso, soro de leite, xantana, guar, locusta.*

1. Introdução

A caseína proteína fosforilada heterogênea constitui o maior componente protéico do leite. Os monômeros desta proteína são copolímeros anfifílicos complexos com uma forte tendência de agregação com superfície hidrofóbica. São descritas como proteínas reomórficas, indicando que elas adotam estruturas moleculares em solução de acordo com o ambiente; sendo suas estruturas flexíveis (DICKINSON, 2006). A estabilização estérica das micelas de caseína se dá através da contribuição das β -caseínas e possivelmente também das caseínas α_{s1} e α_{s2} . Esta estabilização é conhecida como entrópica e pode ser perturbada, ocorrendo agregação, e eventualmente a formação de um gel lácteo; esta é a base de produção de alimentos tais como queijo, iogurte e outros produtos lácteos (KRUIF, 1999; ALEXANDER e DALGLEISH, 2004).

A desestabilização das micelas de caseína pode ocorrer por processos como a acidificação, a qual reduz a estabilização estérica fazendo com que as caseínas se agreguem, pois há a diminuição das cargas negativas da micela, assim como sua capacidade de hidratação (LUCEY e SINGH, 1998; AICHINGER et al., 2003).

Durante a fusão do gel lácteo, interações proteína-proteína e demais interações entre glóbulos de gordura e as moléculas de para- κ -caseínas resultam na formação de uma nova rede tridimensional, que caracteriza o queijo cremoso (DIMITRELI e THOMAREIS, 2008). Durante o estágio inicial de cozimento, as proteínas da rede de queijos são dispersadas. As proteínas dispersadas, por conseguinte são novamente associadas, resultando em novas características em termos

da viscosidade aparente, e conseqüentemente um produto homogêneo e consistente (LEE et al., 2003).

O conhecimento do comportamento reológico de produtos lácteos é importante em avaliações de consistência e estabilidade, fornecendo informações sobre a estrutura do produto (MARUYAMA et al., 2006). Diferentes parâmetros interferem na produção de queijo cremoso, afetando o comportamento reológico da massa fundida durante o processamento e a textura do produto final (DIMITRELI e THOMAREIS, 2008). A Reologia pode ser vista como a ciência de deformação e do escoamento da matéria, ou seja, é o estudo da maneira, segundo a qual os materiais respondem à aplicação de uma determinada tensão ou deformação (TONELLI, MURR e PARK, 2005).

Polissacarídeos são extensivamente utilizados na indústria de alimentos, capazes de aumentar a viscosidade das soluções ou induzir à formação de sistemas com características similares às apresentadas pelos géis, controlando a estrutura e a textura de alimentos (TONELLI, MURR e PARK, 2005)

Proteínas e polissacarídeos são biopolímeros que podem fazer parte do complexo natural dos alimentos ou serem usados como estabilizantes (McCLEMENTS, 2006). Polissacarídeos são utilizados como estabilizantes em produtos lácteos para melhorar a consistência (aumento da viscosidade) e reduzir sinerese. Como as cadeias de caseína podem ser rearranjadas e o tamanho dos agregados diminuir com o aumento da taxa de cisalhamento, rearranjos podem ocorrer e, conseqüentemente mudanças reológicas, além da ocorrência de sinerese na rede do gel, durante o armazenamento (EVERETT e McLEOD, 2005).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência dos polissacarídeos xantana/guar/locusta, isolados e combinados no comportamento reológico de queijos cremosos elaborados com soro de leite líquido utilizando gel ácido, durante 21 dias de armazenamento.

2. Material e métodos

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a elaboração dos géis lácteos (Controle) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Bela Vista), coalho líquido (C. Hansen), ácido láctico (Vetec), cloreto de cálcio p.a. dihidratado (Vetec). Para a elaboração do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec), sorbato de sódio (Allimentus), polissacarídeos: xantana - T06/748, guar – T06/747 e locusta – T06/749 (Gemacom), creme de leite e ricota comercial. Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram de qualidade analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Planejamento Experimental

Os fatores que podem influenciar nas propriedades físicas e químicas das amostras de queijos cremosos – quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos – foram analisados através estatísticas descritivas (soma, média, mediana, moda, amplitude, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e quartis), avaliadas através de histograma e polígono de frequência. Um total de 48 amostras de queijos cremosos foram elaboradas em

triplicatas para todas as amostras, adicionando 0,2 e 0,3% dos polissacarídeos guar, locusta e xantana, com gel ácido e enzimático separadamente. As medidas de sinerese dos queijos cremosos foram as respostas selecionadas para a obtenção das formulações ideais para este estudo. Os fatores e as proporções analisados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.

Ingredientes	Formulações*					
	A1	A2	A3	E1	E2	E3
Soro líquido	25%	35%	45%	35%	45%	55%
Polissacarídeos (guar, locusta e xantana)	0,2 e 0,3%					

* Formulações A1, A2, A3 – massas básicas obtidas por coagulação ácida. Formulações E1, E2, E3 - massas básicas obtidas por coagulação enzimática.

2.2.2 Elaboração do gel lácteo ácido

A coagulação ácida foi realizada adicionando ao leite pasteurizado tipo C (42 °C), 60 mL/L de solução de ácido láctico (10%). A coagulação foi seguida de dessoragem.

2.2.3 Elaboração do queijo cremoso

A fusão do gel lácteo foi realizada a 90 °C, com adição de citrato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1 %). Após foi adicionado creme de leite (20%), ricota (50 %), soro de leite líquido (45 %), sorbato de potássio (0,1 %) e polissacarídeos com diferentes percentuais. O percentual de ricota foi calculado em função da massa do gel

lático, os percentuais dos demais ingredientes foram calculados em relação a massa total (gel lácteo e ricota).

Foram elaborados quatorze diferentes amostras: 1) amostra Controle - queijo cremoso sem polissacarídeos; 2) amostra X = 0,2% xantana; 3) amostra G = 0,3% guar; 4) amostra L = 0,3% locusta; 5) amostra X2L1 = 0,2% xantana/0,1% locusta; 6) amostra X2L2 = 0,2% xantana/0,2% locusta; 7) amostra - X2L3 = 0,2% xantana/0,3% locusta; 8) amostra - X2G1 = 0,2% xantana/0,1% guar; 9) amostra - X2G2 = 0,2% xantana/0,2% guar; 10) amostra - X2G3 = 0,2% xantana/0,3% guar; 11) amostra - L3G1 = 0,3% locusta/0,1% guar; 12) amostra - L3G2 = 0,3% locusta/0,2% guar; 13) amostra - L3G3 = 0,3% locusta/0,3% guar; 14) amostra - G3L1 = 0,3% guar/0,1% locusta.

As amostras foram envasadas em recipientes de polipropileno e armazenadas em temperatura de refrigeração (5 °C), até o momento das análises.

2.2.4 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de umidade, sólidos totais e pH foram realizadas de acordo com AOAC (2005), após 7 dias de armazenamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.5 Medidas reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV

III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc[®] 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a 5 ± 1 °C. As análises reológicas foram realizadas nas amostras armazenadas por 7, 15 e 21 dias. A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento linear da taxa de deformação (curvas de ida) de 0,1 a $8,3 \text{ s}^{-1}$, nos primeiros 30 minutos de análise, retornando para as taxas iniciais nas curvas de volta nos 30 minutos posteriores. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata.

Foi utilizado o modelo reológico de lei de Potência (1), para descrever o comportamento de fluxo das amostras.

$$\sigma = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^n} \quad (1)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); K - índice de consistência (Pa.s^n); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

2.2.6 Análise estatística

A análise estatística dos valores médios obtidos nas análises físico-químicas e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi realizada por Análise de

Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 1% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab® (versão 7.5).

3. Resultados e Discussão

3.1 Planejamento experimental

O efeito das combinações entre os fatores de quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos foram avaliadas utilizando estatísticas descritiva, histograma e polígono de frequência. Os resultados obtidos entre as combinações dos fatores e o índice de sinerese estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

É importante observar na Figura 1 que, os valores mais freqüentes estão presentes no quartil inferior, ou seja nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 22. Dentre as melhores formulações, ou seja, que apresentaram menores teores de sinerese após 7 dias de armazenamento, obteve-se aquelas com 35% e 45% de soro, com 0,2% de xantana para os dois tipos de géis lácteos.

Os valores mais freqüentes na Figura 2, estão presentes no quartil inferior, ou seja, nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 3,5% (Figura 2). Demonstrando que as melhores formulações foram os queijos cremosos com 35% de soro com 0,3% de guar e/ou locusta, para aqueles elaborados com coalhada enzimática. E aqueles queijos elaborados com coalhada ácida, demonstraram menor teor de sinerese, para os que foram elaborados com 45% de soro e 0,3% de guar e/ou locusta.

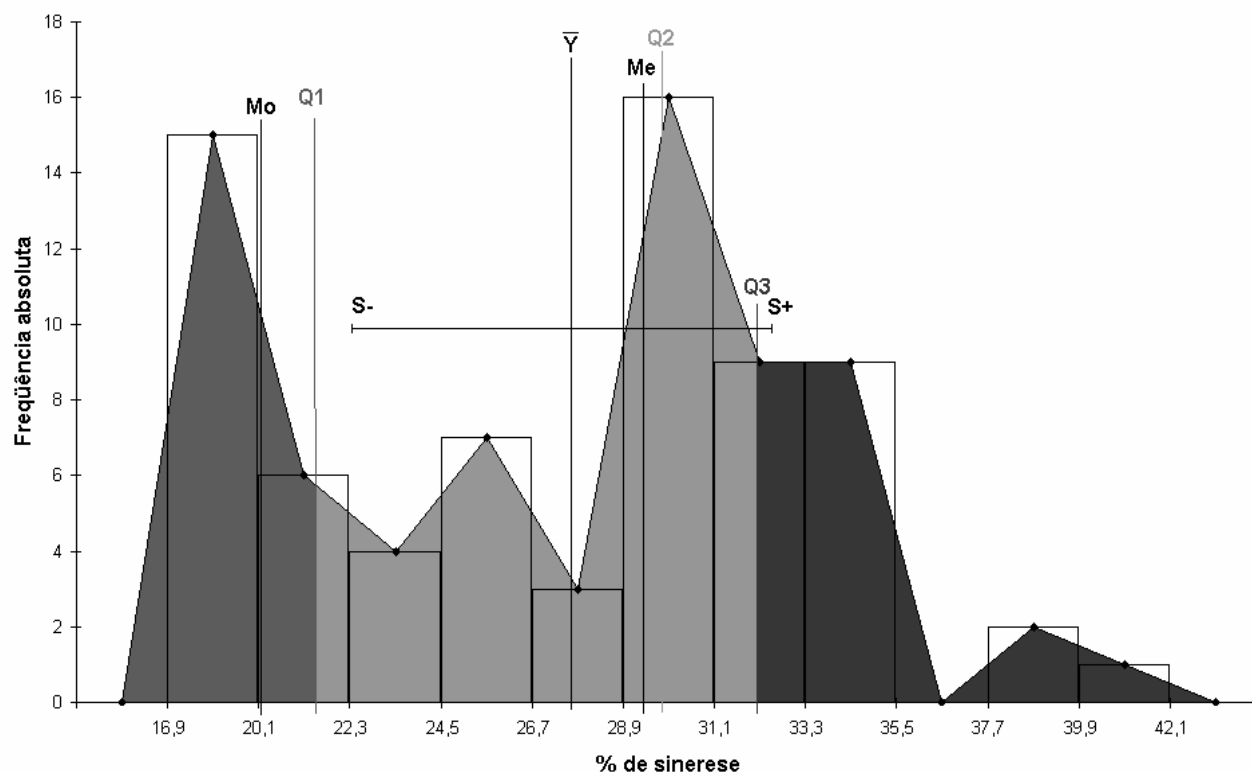


Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

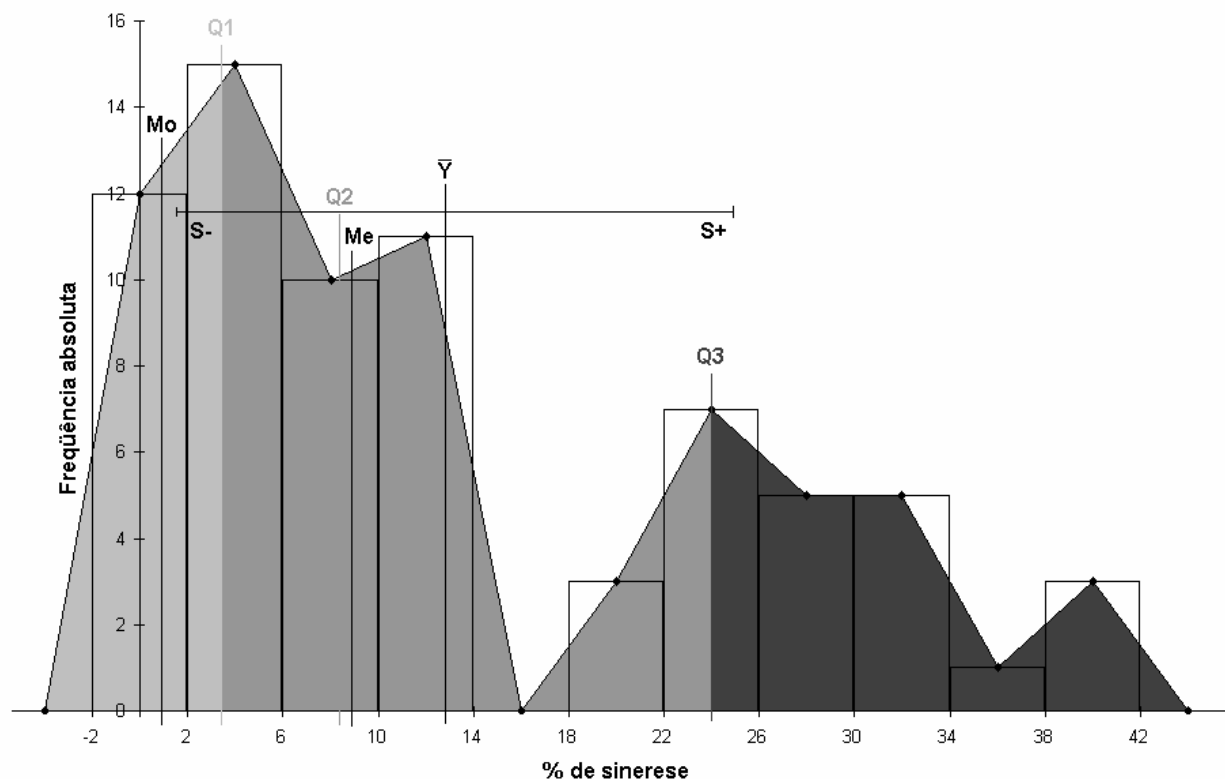


Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

Para este estudo, elaborou-se queijos cremosos com géis ácidos e os três polissacarídeos (guar, locusta e xantana) foram selecionados e combinados entre si.

Os valores médios obtidos na caracterização físico-química dos queijos cremosos elaborados com polissacarídeos combinados estão apresentados na Tabela 2. Os valores de pH variaram de 6,33 a 6,91, os teores de sólidos totais variaram de 24,40 a 28,11% e de umidade, de 73,40 a 75,60%.

Os parâmetros reológicos obtidos através do modelo proposto dos queijos cremosos estão apresentados nas Tabelas 3 (curvas de ida e volta). Esses parâmetros foram descritos pelo modelo matemático de lei de Potência (1), obtidos pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, analisados graficamente em coordenadas logarítmicas. A determinação do coeficiente de correlação (R) para o modelo lei de Potência variou de 0,71 a 0,99, demonstrando que este modelo foi adequado para descrever o comportamento reológico das amostras de queijo cremoso.

As amostras apresentaram histerese (Tabela 3), que segundo Tárrega, Duran e Costell (2004), é a característica da relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação; onde a área entre as curvas de ida e volta, revela o efeito tixotrópico, que caracteriza que o comportamento reológico é dependente do tempo.

Através dos parâmetros reológicos obtidos (Tabela 3)(curvas de ida), nota-se que os valores do índice de consistência (K) das amostras com polissacarídeos, diferenciaram significativamente ($p < 0,01$) do Controle (7 dias de armazenamento), com exceção para as amostras X2G3 e L3G3. As amostras com polissacarídeos apresentaram aumento de linearidade nas curvas de fluxo (Figura 3, 7A e 7B).

Tabela 2. Análises físico-químicas das amostras de queijo cremoso*.

Amostras**	pH	Sólidos totais (%)	Umidade (%)
Controle	6,33 ^a (± 0,05)	24,41 ^a (± 0,47)	75,59 ^a (± 0,47)
X	6,70 ^{bd} (± 0,02)	26,60 ^{bc} (± 0,66)	73,40 ^{bc} (± 0,66)
G	6,94 ^c (± 0,03)	25,51 ^{ab} (± 1,29)	74,49 ^{ab} (± 1,29)
L	6,81 ^{bc} (± 0,01)	25,78 ^{ab} (± 0,61)	74,22 ^{ab} (± 0,61)
X2L1	6,05 ^h (± 0,04)	25,28 ^{abc} (± 0,29)	74,72 ^{abc} (± 0,29)
X2L2	6,38 ^a (± 0,11)	26,35 ^{bc} (± 0,39)	73,65 ^{bc} (± 0,39)
X2L3	6,75 ^{bf} (± 0,02)	26,57 ^{bde} (± 0,30)	73,43 ^{bde} (± 0,30)
X2G1	6,57 ^{bef} (± 0,05)	25,55 ^{ace} (± 0,32)	74,45 ^{ace} (± 0,32)
X2G2	6,47 ^{ae} (± 0,05)	24,40 ^{ac} (± 0,23)	75,60 ^{ac} (± 0,23)
X2G3	6,63 ^{def} (± 0,06)	24,86 ^{ace} (± 0,39)	75,14 ^{ace} (± 0,39)
L3G1	6,58 ^{df} (± 0,01)	28,11 ^d (± 0,32)	71,89 ^d (± 0,32)
L3G2	6,65 ^{df} (± 0,01)	28,00 ^d (± 1,06)	72,00 ^d (± 1,06)
L3G3	6,91 ^{bg} (± 0,02)	26,17 ^{cde} (± 0,29)	73,83 ^{cde} (± 0,29)
G3L1	6,81 ^{bc} (± 0,01)	25,71 ^{ace} (± 1,21)	74,29 ^{ace} (± 1,21)

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições.

**Amostras de queijo cremoso contendo: X = 0,2% xantana; G = 0,3% guar; L = 0,3% locusta; X2L1 = 0,2% xantana/0,1% locusta; X2L2 = 0,2% xantana/0,2% locusta; X2L3 = 0,2% xantana/0,3% locusta; X2G1 = 0,2% xantana/0,1% guar; X2G2 = 0,2% xantana/0,2% guar; X2G3 = 0,2% xantana/0,3% guar; L3G1 = 0,3% locusta/0,1% guar; L3G2 = 0,3% locusta/0,2% guar; L3G3 = 0,3% locusta/0,3% guar; G3L1 = 0,3% guar/0,1% locusta.

Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida e volta) dos queijos cremosos obtidos pelo modelo de lei de Potência durante 21 dias de armazenamento (Continua)*.

Armaze- namento	Amostras***	Histerese	Ida**		Volta	
			K	n	K	n
7 dias	Controle	15,85 ^a _a	18,47 ^a _a	0,08 ^a _a	12,41 ^a _a	0,20 ^{ab} _a
	X	10,01 ^b _a	15,27 ^b _a	0,50 ^b _a	7,25 ^{bc} _a	0,64 ^b _a
	G	9,11 ^b _a	12,76 ^c _a	0,24 ^c _a	7,70 ^{bc} _a	0,52 ^b _a
	L	2,67 ^d _a	12,65 ^c _a	0,29 ^c _a	0,74 ^e _a	1,16 ^b _a
	X2L1	8,18 ^b _a	39,72 ^d _a	0,41 ^b _a	11,99 ^a _a	0,43 ^b _a
	X2L2	4,47 ^d _a	22,40 ^e _a	0,22 ^c _a	6,89 ^c _a	0,74 ^b _a
	X2L3	14,69 ^a _a	43,32 ^f _a	0,30 ^d _a	30,29 ^f _a	0,44 ^b _a
	X2G1	9,32 ^b _a	23,02 ^e _a	0,73 ^e _a	2,94 ^d _{ab}	0,97 ^b _a
	X2G2	10,73 ^b _a	15,02 ^b _a	0,82 ^e _a	3,93 ^{cd} _a	0,97 ^b _a
	X2G3	3,84 ^d _a	19,33 ^{ae} _a	0,61 ^e _a	2,51 ^d _{ab}	1,11 ^b _a
	L3G1	3,91 ^d _a	11,90 ^c _a	0,27 ^c _a	2,26 ^d _a	0,87 ^c _a
	L3G2	4,84 ^d _a	15,95 ^b _a	0,21 ^c _a	3,01 ^d _a	0,84 ^b _a
	L3G3	4,29 ^d _a	18,67 ^{ae} _a	0,52 ^b _a	2,22 ^d _a	0,83 ^b _a
	G3L1	3,16 ^d _a	21,03 ^e _a	0,52 ^b _a	1,08 ^e _a	1,16 ^b _a
15 dias	Controle	29,54 ^a _b	17,58 ^a _a	0,10 ^a _b	8,27 ^a _b	0,21 ^a _a
	X	10,33 ^b _a	18,16 ^a _{ab}	0,26 ^b _b	7,81 ^a _a	0,48 ^b _b
	G	9,48 ^b _a	19,91 ^a _b	0,27 ^b _b	5,13 ^{ace} _a	0,72 ^c _b
	L	2,02 ^c _a	25,22 ^b _b	0,53 ^c _b	1,18 ^b _a	1,14 ^d _b
	X2L1	4,71 ^d _b	10,07 ^c _b	0,02 ^d _b	3,53 ^c _b	0,69 ^c _a
	X2L2	4,58 ^d _a	10,00 ^c _b	0,03 ^a _b	6,74 ^{ae} _a	0,39 ^e _b
	X2L3	19,18 ^e _b	38,15 ^d _b	0,16 ^a _b	32,39 ^d _a	0,38 ^e _{ab}
	X2G1	9,30 ^b _a	27,45 ^b _b	0,89 ^e _a	3,18 ^c _a	0,87 ^d _a
	X2G2	3,49 ^d _b	11,19 ^c _b	0,26 ^b _b	1,91 ^b _a	0,93 ^d _a
	X2G3	5,02 ^d _a	7,98 ^e _b	0,38 ^b _b	1,94 ^b _{ab}	1,11 ^d _a
	L3G1	1,79 ^c _a	6,32 ^e _b	0,23 ^f _b	1,92 ^b _a	0,91 ^d _{ab}
	L3G2	5,58 ^d _a	18,14 ^a _b	0,08 ^d _b	3,87 ^c _a	0,85 ^d _a
	L3G3	4,18 ^d _a	17,02 ^a _a	0,43 ^{bc} _{ab}	1,78 ^b _a	0,95 ^d _a
	G3L1	3,09 ^d _a	16,91 ^a _b	0,49 ^{bc} _b	0,97 ^b _a	1,18 ^d _a

Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de ida e volta) dos queijos cremosos obtidos pelo modelo de lei de Potência durante 21 dias de armazenamento*.

Armaze- namento	Amostras***	Histerese	Ida**		Volta	
			K	n	K	n
21 dias	Controle	4,13 ^a _c	19,41 ^a _b	0,49 ^a _c	13,48 ^a _a	0,58 ^a _b
	X	13,93 ^b _b	20,98 ^{ab} _b	0,29 ^b _b	7,38 ^b _a	0,62 ^b _a
	G	11,43 ^c _a	19,49 ^a _b	0,26 ^b _b	7,48 ^b _a	0,64 ^b _{ab}
	L	2,08 ^d _a	16,41 ^c _c	0,38 ^{ab} _c	0,91 ^c _a	1,14 ^c _b
	X2L1	7,19 ^e _a	30,66 ^d _c	0,29 ^b _c	1,21 ^c _b	0,92 ^c _b
	X2L2	2,05 ^d _a	21,33 ^b _a	0,21 ^b _a	3,48 ^d _b	0,79 ^{be} _a
	X2L3	24,73 ^f _c	45,52 ^e _c	0,12 ^d _c	40,73 ^e _b	0,26 ^d _b
	X2G1	7,19 ^e _b	30,21 ^d _c	0,99 ^c _a	1,21 ^c _b	1,14 ^c _c
	X2G2	2,37 ^d _b	28,69 ^d _c	0,91 ^c _c	3,06 ^d _b	0,73 ^b _b
	X2G3	4,12 ^a _a	18,77 ^b _a	0,42 ^a _b	0,64 ^c _b	1,12 ^c _a
	L3G1	2,69 ^d _a	10,12 ^f _a	0,14 ^e _c	2,15 ^c _a	0,86 ^e _b
	L3G2	4,91 ^a _a	16,22 ^c _a	0,17 ^{be} _a	3,30 ^d _a	0,85 ^e _a
	L3G3	3,83 ^a _a	14,12 ^c _b	0,31 ^{ab} _b	2,36 ^{cd} _a	0,83 ^e _a
	G3L1	2,73 ^d _a	17,93 ^{bc} _b	0,46 ^a _b	1,05 ^c _a	1,12 ^{ce} _a

*Valores dentro das colunas não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo letras sobrescritas (à esquerda), a relação entre formulações; letras subscritas (à direita), a relação entre os dias de armazenamento. Média de duas repetições. ** K = índice de consistência (Pa.s^n); n = índice de comportamento de fluxo. *** X = 0,2% xantana; G = 0,3% guar; L = 0,3% locusta; X2L1 = 0,2% xantana/0,1% locusta; X2L2 = 0,2% xantana/0,2% locusta; X2L3 = 0,2% xantana/0,3% locusta; X2G1 = 0,2% xantana/0,1% guar; X2G2 = 0,2% xantana/0,2% guar; X2G3 = 0,2% xantana/0,3% guar; L3G1 = 0,3% locusta/0,1% guar; L3G2 = 0,3% locusta/0,2% guar; L3G3 = 0,3% locusta/0,3% guar; G3L1 = 0,3% guar/0,1% locusta; G3L2 = 0,3% guar/0,2% locusta.

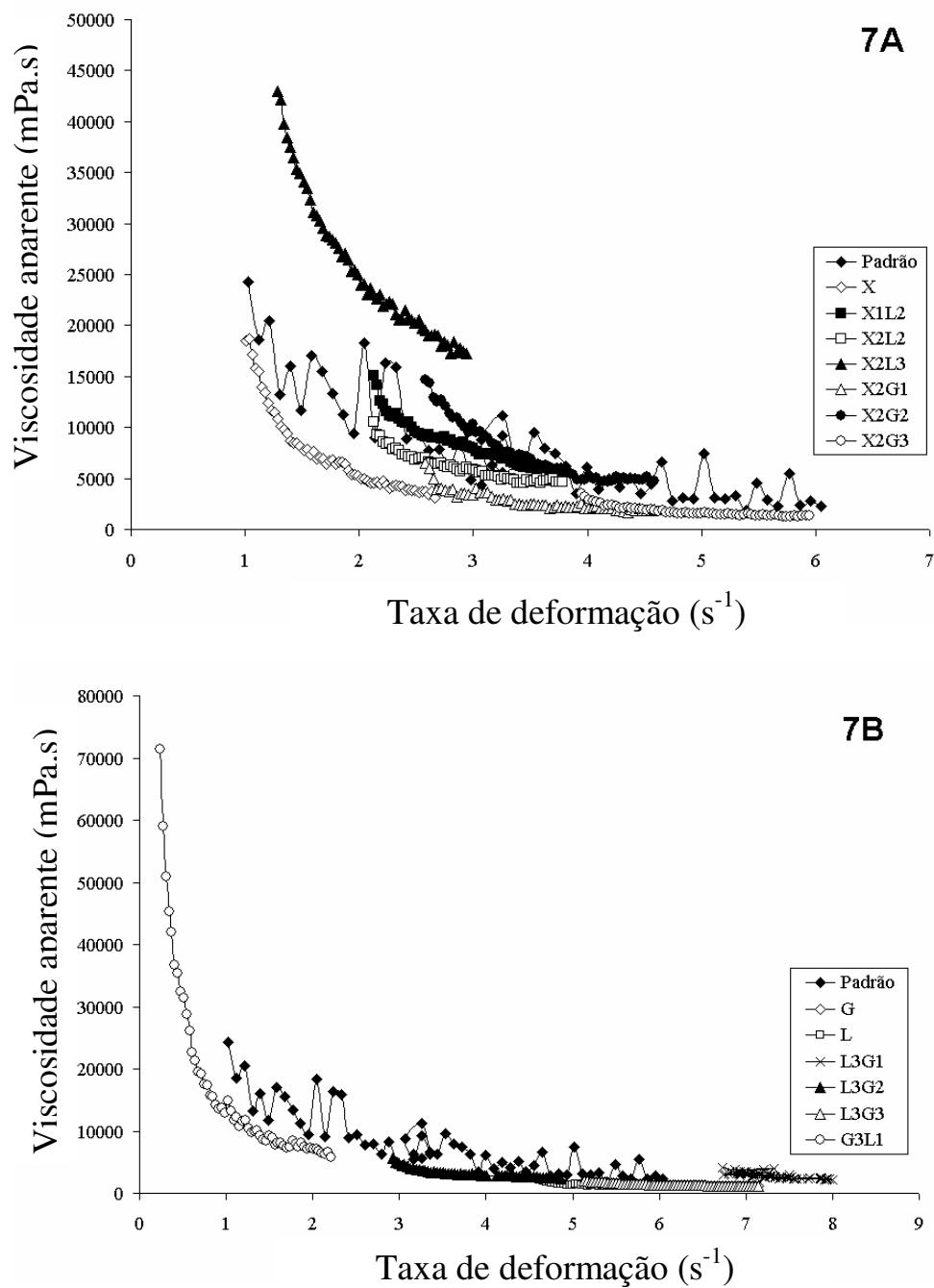


Figura 3. Curvas de fluxo dos queijos cremosos armazenados durante 7, 15 e 21 dias (Continua).

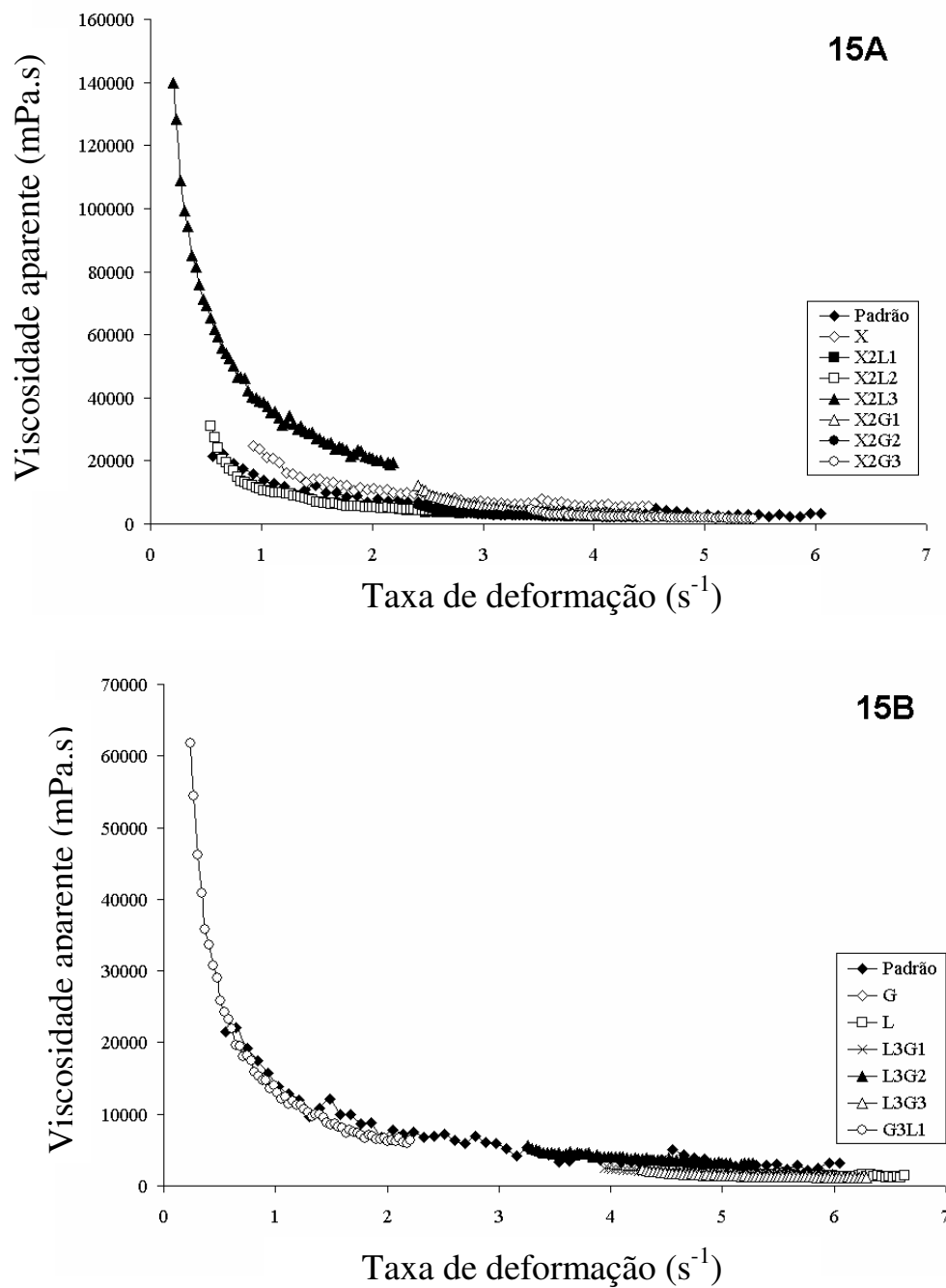


Figura 3. Curvas de fluxo dos queijos cremosos armazenados durante 7, 15 e 21 dias (Continua).

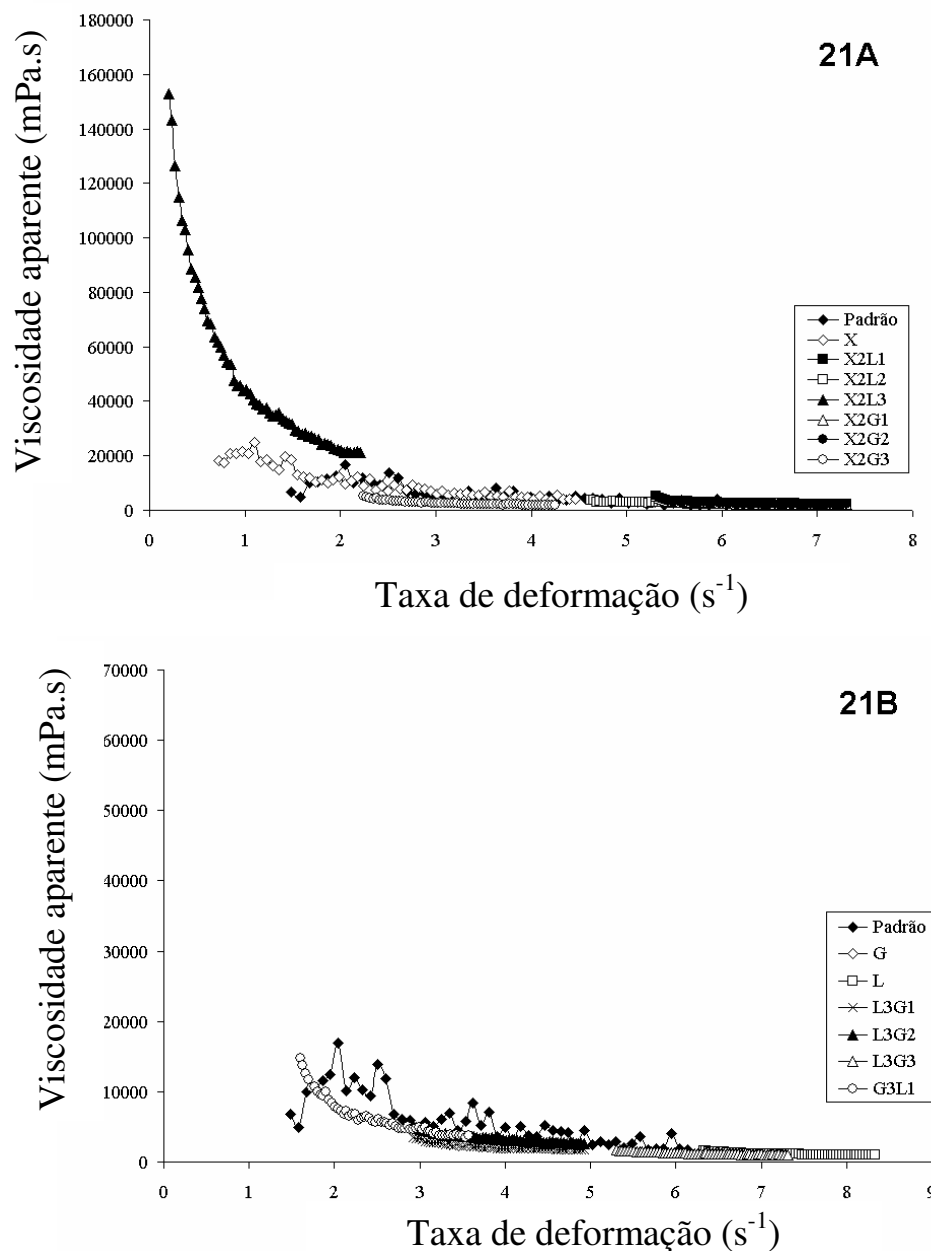


Figura 3. Curvas de fluxo dos queijos cremosos armazenados durante 7, 15 e 21 dias.

Amostras A adicionadas de xantana e galactomananas, amostras B adicionadas de galactomananas. 7A) e 7B) amostras com 7 dias de armazenamento; 15A) e 15B) amostras com 15 dias de armazenamento; 21A) e 21B) amostras com 21 dias de armazenamento. X = 0,2% xantana; G = 0,3% guar; L = 0,3% locusta; X2L1 = 0,2% xantana/0,1% locusta; X2L2 = 0,2% xantana/0,2% locusta; X2L3 = 0,2% xantana/0,3% locusta; X2G1 = 0,2% xantana/0,1% guar; X2G2 = 0,2% xantana/0,2% guar; X2G3 = 0,2% xantana/0,3% guar; L3G1 = 0,3% locusta/0,1% guar; L3G2 = 0,3% locusta/0,2% guar; L3G3 = 0,3% locusta/0,3% guar; G3L1 = 0,3% guar/0,1% locusta.

Dentre as formulações com xantana e galactomananas, a combinação X2L3 apresentou maior índice de consistência (K), assim como, maior viscosidade aparente durante o aumento da taxa de deformação (Figura 3, 7A), em relação as demais amostras, para este período de armazenamento (7 dias). Se compararmos X2L3 com G3L1 (Figura 3, 7A e 7B), percebe-se que a amostra com xantana e locusta, apresentou menor viscosidade aparente, se comparada com a amostra com galactomananas combinadas (G3L1), possivelmente pelo mecanismo de formação do gel na presença de xantana. Pois, segundo Moschakis, Murray e Dickinson (2005), em fases transitórias e por via de rearranjo, eventualmente pela alta velocidade de formação deste gel, forma-se uma rede “grosseira” de moléculas de xantana e o gel é provido de grandes pontos de cruzamento, sofrendo sinerese facilmente. Podendo haver, diminuição na viscosidade das amostras, como apresentado em nossos resultados.

A análise das amostras com 15 dias de armazenamento mostra que, houve aumento significativo ($p < 0,01$) no índice de consistência (K) para as amostras com xantana combinada às galactomananas (X2L3 e X2G1) e para a amostra com locusta (L) se comparadas com o Controle. Nota-se que a combinação de xantana e locusta (X2L3) (Figura 3, 15A) apresentou maior viscosidade aparente, do que para a combinação de galactomananas (Figura 3, 15B), diferentemente do que foi observado com 7 dias de armazenamento, possivelmente por rearranjos ocorridos durante o período de armazenamento. De acordo com Phillips e Willians (2000), o polissacarídeo locusta permite associações inter-cadeia com xantana, conduzindo uma melhor formação de agregados pseudocristalinos, reagindo com mais eficiência se comparado com as interações sinérgicas entre as gomas xantana e guar, que são mais fracas.

Com 21 dias de armazenamento, houve um aumento significativo ($p < 0,01$) no índice de consistência (K), para as amostras com xantana e locusta e/ou guar (X2L1, X2L2, X2L3, X2G1, X2G2), quando comparadas com o Controle. Demonstrando que os polissacarídeos apresentaram interações sinérgicas desejáveis, conduzindo a propriedades reológicas diferenciadas, que podem ser observadas pelo aspecto das curvas de fluxo (Figura 3, 21A e 21B). Estes resultados estão de acordo com os resultados de Pai e Khan (2002), que avaliaram o comportamento reológico e gelatinização de misturas com xantana e guar, e de Sanchez et al. (2000), que avaliaram iogurtes adicionados de xantana e locusta. Observando a Figura 3 (21A e 21B), a combinação de xantana e locusta (X2L3), se mostrou mais eficiente em aumentar a viscosidade aparente das amostras, do que quando utilizada a combinação entre galactomananas.

Os valores de índice de comportamento de fluxo (n), obtidos pela lei de Potência nas curvas de ida (aumento da taxa de deformação) (Tabela 3), variaram de 0,08 a 0,99 ($n < 1$), destacando o comportamento dos queijos cremosos como fluidos não-Newtonianos, pseudoplástico e com presença de tixotropia, pela viscosidade aparente que não foi constante, pois houve um decréscimo em função da taxa de deformação (Figura 3, 7A-21B). Considerou-se que os valores negativos obtidos caracterizaram o comportamento altamente pseudoplástico das amostras. Os valores de n obtidos para as amostras com xantana/locusta e/ou guar, mostraram-se mais negativos, o que representa maior pseudoplasticidade, se comparada com as amostras com galactomananas combinadas.

É importante ressaltar que o parâmetro de umidade apresentou interação com o índice de comportamento de fluxo (n) (Figura 4), esta interação foi evidenciada nas amostras que foram elaboradas com polissacarídeos combinados. Esse tipo de interação foi observada por Dimitreli e Thomareis (2004) que avaliaram a viscosidade aparente de queijo processado, onde foi evidenciado que o aumento do teor de umidade resultou no aumento da mobilidade das moléculas de proteína por rotação, e as macromoléculas se orientam na direção do fluido, mas com menor dependência ao aumento da taxa de deformação. No caso dos polissacarídeos adicionados às amostras dos queijos cremosos, o aumento no teor de sólidos, e conseqüente redução no teor de umidade, conferiu às amostras uma aumento no índice de comportamento de fluxo (menos pseudoplástico) e vice-versa.

Observou-se, após a diminuição da taxa de deformação (curva de volta) (Tabela 3), que o índice de consistência (K) variou de 0,74 a 40,73 Pa.sⁿ sendo que houve aumento significativo ($p < 0,01$) para a amostra com xantana e locusta (X2L3) se comparado com a amostra Controle, após 7, 15 e 21 dias de armazenamento. Comparando as curvas de ida e de volta (Tabela 3), referentes a todo o período de armazenamento, os resultados das curvas de volta apresentaram menores índices de consistência. É possível atribuir este comportamento à quebra estrutural da rede protéica dos queijos cremosos, após sofrerem ação de uma crescente taxa de deformação.

Quando comparados os índices de comportamento de fluxo (n) nas curvas de ida e volta, os dados das curvas de volta apresentaram valores maiores, com conseqüente diminuição da pseudoplasticidade das amostras, com proximidade a

fluidos Newtonianos ($n=1$). Comportamento este, mantido pela amostra QX2G3 durante todo o período de armazenamento.

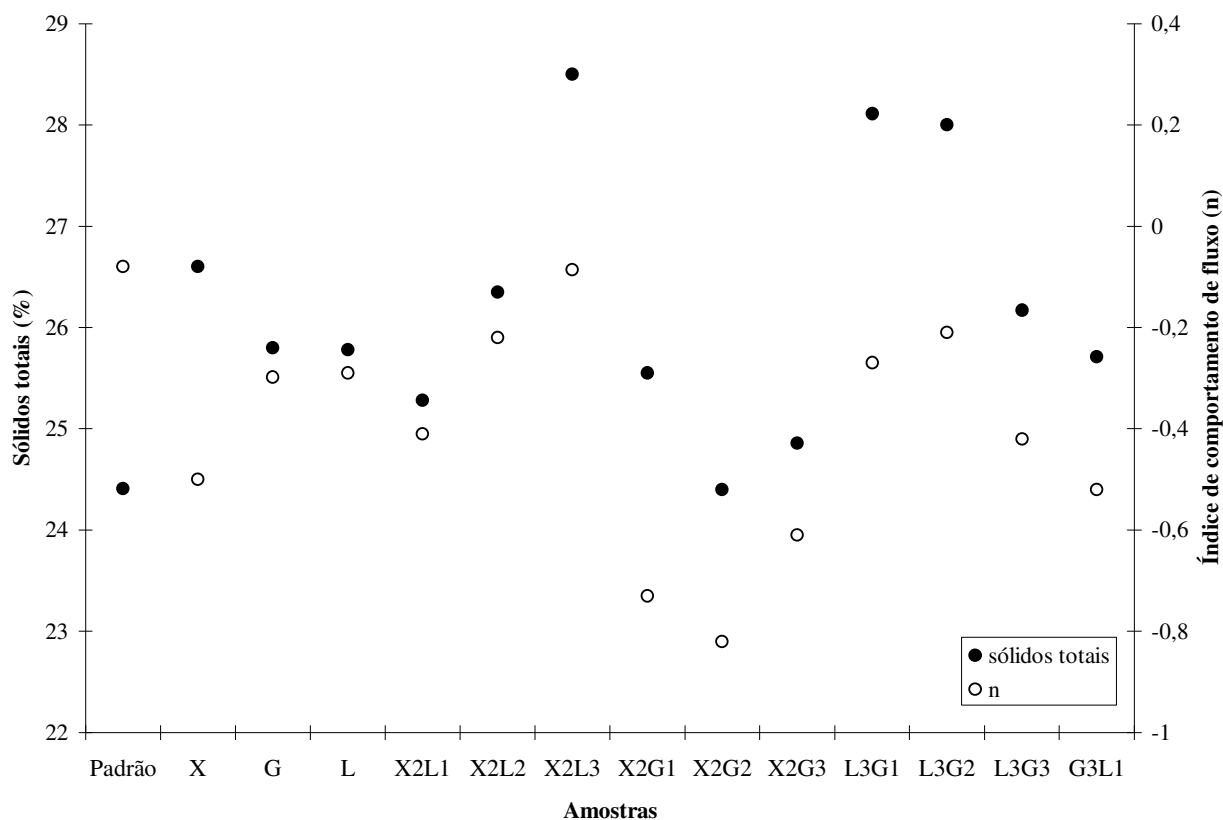


Figura 4. Interação entre percentual de sólidos totais e índice de comportamento de fluxo para as amostras de queijos cremosos com 7 dias de armazenamento.

X = 0,2% xantana; G = 0,3% guar; L = 0,3% locusta; X2L1 = 0,2% xantana/0,1% locusta; X2L2 = 0,2% xantana/0,2% locusta; X2L3 = 0,2% xantana/0,3% locusta; X2G1 = 0,2% xantana/0,1% guar; X2G2 = 0,2% xantana/0,2% guar; X2G3 = 0,2% xantana/0,3% guar; L3G1 = 0,3% locusta/0,1% guar; L3G2 = 0,3% locusta/0,2% guar; L3G3 = 0,3% locusta/0,3% guar; G3L1 = 0,3% guar/0,1% locusta.

4. Conclusões

Os parâmetros reológicos confirmam que os polissacarídeos combinados (xantana/locusta/guar) podem ser utilizados para compensar as alterações físicas ocasionadas pela adição do soro de leite em queijo cremoso, de forma eficiente quando comparada à presença de um único polissacarídeo. Foi observada uma interação entre o teor de sólidos totais e o índice de comportamento de fluxo (n) das amostras. Todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico com tixotropia, sendo que para àquelas submetidas ao aumento da taxa de deformação (curvas de ida). Dentre àquelas submetidas a diminuição da taxa de deformação (curvas de volta), as amostras L, X2G3, G3L1 apresentaram comportamento dilatante. Os maiores valores para o índice de consistência (K) foram obtidos para os polissacarídeos nas concentrações 0,2% xantana/0,3% locusta, assim como para a viscosidade aparente, a partir do 15º dia de armazenamento.

5. Referências

- AICHINGER P.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.; ROUVET, M.; D'AMICO, N; ZINK,R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chimosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.31, p.243-255, 2003.
- ALEXANDER, M. e DALGLEISH, D. G. Application of transmission diffusing wave spectroscopy to the study of gelation of milk by acidification and rennet. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 38, p. 83-90, 2004.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.
- DICKINSON, E. Structure formation in casein-based gels, foams, and emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 288, p. 3-11, 2006.
- DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. **Journal of Food Engineering**, v.84, p. 368-374, 2008.
- DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 265-271, 2004.
- EVERETT, D.W. e McLEOD, R.E. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. **International Dairy Journal**, v.15, p. 1175-1183, 2005.
- KRUIF, C. G. de. Casein micelle interactions. **International Dairy Journal**, v.9, p. 183-188, 1999.
- LEE, S.K.; BUWALDA, R.J.; EUSTON, S.R.; FOEGEDING, E.A.; McKENNA, A.B. Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. **LWT**, v. 36, p. 339-345, 2003.

LUCEY, J.A. e SINGH, H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. **Food Research International**, v. 30, n. 7, p. 529-542, 1998.

MARUYAMA, L. Y.; CARDARELLI, H.R.; BURITI, F.C.A.; SAAD, S.M.I. Textura instrumental de queijo *petit-suisse* potencialmente probiótico: Influência de diferentes combinações de gomas. **Revista Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.26(2), p. 386-393, abr/jun. 2006.

McCLEMENTS, D.J. Non-covalent interactions between proteins and polysaccharides. **Biotechnology Advances**, v. 24, p. 621-625, 2006.

MOSCHAKIS, T.; MURRAY, B.S.; DICKINSON, E. Microstrutural evolution of viscoelastic emulsions stabilized by sodium caseinate and xanthan gum. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.284, p. 714-728, 2005.

PAI, V.B. e KHAN, S.A. Gelation and rheology of xanthan/enzyme-modified guar blends. **Carbohydrate Polymers**, v.49, p. 207-216, 2002.

PHILLIPS, G.O. e WILLIAMS, P.A. **Handbook of hydrocolloids**. USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2000.

SANCHEZ, C.; ZUNIGA-LOPEZ, C.; SCHMITT, S.; DESPOND, S.; HARDY, J. Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 199-212, 2000.

TÁRREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 345-353, 2004.

TONELLI, J. T. de C. L.; MURR, F.E.X. ; PARK, Kil Jin. Revisão. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p. 181-204, 2005.

5. Caracterização de queijos cremosos elaborados com polissacarídeos e diferentes processos de coagulação

Caracterização de queijos cremosos elaborados com polissacarídeos e diferentes processos de coagulação

Géis lácteos podem ser formados por ação enzimática ou por acidificação. Géis de caseína são dinâmicos e o rearranjo das cadeias formam uma rede que pode ocorrer antes ou durante a formação do gel. Este processo pode levar à formação de densos agregados e a uma rede com poros, ocorrendo a sinerese. Polissacarídeos (como xantana, locusta e, guar) podem ser adicionados em produtos lácteos com a finalidade de: estabilizar sua estrutura, melhorar viscosidade, alterar a textura e alterar a organização da rede protéica dos géis lácteos. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de diferentes combinações de polissacarídeos xantana/locusta e xantana/guar, em queijos cremosos elaborados com soro líquido e diferentes processos de coagulação, durante 7, 15 e 21 dias de armazenamento. Os géis lácteos foram analisados em termos de pH, umidade, sólidos totais, lipídios, proteínas, resíduo mineral fixo, acidez e glicídios redutores. Os queijos cremosos foram avaliados segundo parâmetros físico-químicos (pH, umidade e sólidos totais), sinerese, índice de separação de soro e comportamento reológico. Os dados reológicos foram descritos pelo modelo de lei de Potência. O gel enzimático apresentou influência nas propriedades físicas, possivelmente por apresentar uma rede protéica mais organizada e mineralizada, aumentando a viscosidade das amostras e diminuindo os teores de separação de soro e sinerese, assim como a combinação de polissacarídeos, apresentou influencia nesses parâmetros. Considerando as amostras de queijos cremosos, a amostra elaborada com xantana/locusta (EXL2) e gel

enzimático, apresentou maior consistência, menor índices de sinerese e de separação de soro. Todas as amostras apresentaram comportamentos reológicos similares (fluidos pseudoplásticos com tixotropia).

Palavras-chave: *queijo cremoso, géis lácteos, xantana, locusta, guar, processos de coagulação.*

1. Introdução

Leite é uma emulsão diluída de glóbulos de gordura e uma suspensão coloidal de partículas de proteínas altamente hidratadas, as micelas de caseínas. Estas estão dispersas em uma fase aquosa contendo sais, lactose e proteínas de soro. Sendo que as propriedades tecnológicas do leite, como sua conversão a produtos tais como queijo, contam diretamente com a estabilidade das micelas de caseína (BANSAL et al., 2006; HORNE, 2003). As micelas são grandes agregados, formados por quatro caseínas (α_{s1} , α_{s2} , β e κ), na proporção 4:1:4:1,3 e complexadas com fosfato de cálcio. Estas partículas coloidais de moléculas individuais de caseínas são estabilizadas estericamente e eletrostaticamente por uma camada composta por frações de κ -caseína, constituída no seu interior por núcleo hidrofóbico formado pelas demais, a fim de evitar a agregação (ANEMA, LEE, KLOSTERMEYER, 2007; BANSAL et al., 2006; ALEXANDER e DALGLEISH, 2004).

Ainda que as micelas de caseínas sejam muito estáveis, estabilidade esta determinada pela κ -caseína, as micelas podem ser desestabilizadas por determinados processos, que determinam a formação de géis lácteos, que podem ser por acidificação ou pela ação de enzimas (ANEMA, LEE, KLOSTERMEYER, 2007; BANSAL et al., 2006; KRUIF, 1999). Estes processos são de grande importância econômica para a indústria de lácteos, na elaboração de produtos (AINCHINGER et al., 2003).

Historicamente, a separação das caseínas das demais proteínas lácteas pode ser, por meio de precipitação no ponto isoelétrico (ao redor de pH 4,6), obtendo as chamadas proteínas ácidas, ou por enzimas, hidrolisando a caseína κ , entre os

aminoácidos 105 (Fenilalanina) e 106 (Metionina). O glicomacropéptido liberado (aminoácidos 106 a 169), contém os resíduos fosforilados (149) e glicosilados (131, 133, 135 e 136) e portanto polar e solúvel. A porção N-terminal (1 - 105) é hidrofóbica e pouco solúvel. A eliminação da porção glicopeptídica reduz a carga da superfície da micela e conseqüentemente as repulsões eletrostáticas intermicelares. Devido ao predomínio hidrofóbico da para- κ -caseína, as micelas se associam mais facilmente. Interações iônicas são possíveis entre as cargas positivas da para- κ -caseína e as cargas negativas das caseínas α_{s1} e β , sendo estabelecidas pelas ligações fosfocálcicas entre as micelas (FENEMMA, 2005).

A incorporação de proteínas do soro líquido a partir do soro na sua forma líquida em produtos lácteos, é uma ferramenta útil para sua reutilização. No entanto, problemas tecnológicos surgem em decorrência da diminuição do conteúdo de sólidos totais da matéria-prima, resultando na diminuição da viscosidade e aumento da sinerese dos produtos lácteos, considerados como defeitos pelo consumidor (GAUCHE, 2007). As propriedades físicas destes produtos podem, no entanto, serem melhoradas pela utilização de polissacarídeos, principalmente no que diz respeito à retenção de água (McCLEMENTS, 2006).

As características reológicas dos produtos lácteos são fortemente afetadas pelos processos de coagulação empregados. Estas características dependem também das condições de gelatinização que vão caracterizar a textura, a percepção sensorial e conseqüentemente a aceitabilidade do produto pelo consumidor. Outro aspecto importante é a contração do gel que resulta na sinerese, separação de soro que durante o armazenamento representa um defeito para o consumidor (NÁJERA, RENOBLES e BARRON, 2003; AICHINGER et al., 2003)

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diferentes processos de coagulação e de combinações xantana / locusta e xantana / guar, nos parâmetros físico-químicos, sinerese, índice de separação de soro e comportamento reológico de queijos cremosos, durante 7, 15 e 21 dias de armazenamento.

2. Material de Métodos

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a fabricação das coalhadas (Controle) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Bela Vista), coalho líquido (Bela Vista), ácido láctico (Vetec), cloreto de cálcio p.a. dihidratado (Vetec). Para a fabricação do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec), sorbato de sódio (Allimentus) creme de leite, ricota comercial e polissacarídeos: xantana – T06/748, guar – T06/746 e locusta – T06/749 (Gemacon). Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram de qualidade analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Planejamento Experimental

Os fatores que podem influenciar nas propriedades físicas e químicas das amostras de queijos cremosos – quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos – foram analisados através estatísticas descritivas (soma, média, mediana, moda, amplitude, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e quartis), avaliadas através de histograma e polígono de

freqüência. Um total de 48 amostras de queijos cremosos foram elaboradas em triplicatas para todas as amostras, adicionando 0,2 e 0,3% dos polissacarídeos guar, locusta e xantana, com gel ácido e enzimático separadamente. As medidas de sinerese dos queijos cremosos foram as respostas selecionadas para a obtenção das formulações ideais para este estudo. Os fatores e as proporções analisados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Proporções de soro nas formulações de queijo cremoso.

Ingredientes	Formulações*					
	A1	A2	A3	E1	E2	E3
Soro líquido	25%	35%	45%	35%	45%	55%
Polissacarídeos (guar, locusta e xantana)	0,2 e 0,3%					

* Formulações A1, A2, A3 – massas básicas obtidas por coagulação ácida. Formulações E1, E2, E3 - massas básicas obtidas por coagulação enzimática.

2.2.2 Elaboração dos géis lácteos

Gel ácido: a coagulação ácida foi realizada adicionando ao leite pasteurizado tipo C (42 °C) 60 mL/L de solução de ácido láctico (10%). A coagulação foi seguida de dessoragem.

Gel enzimático: ao leite pasteurizado tipo C (42 °C) foi adicionado: fermento lácteo liofilizado (0,2%), cloreto de cálcio 50 % p/v (0,4 %) e coalho líquido (0,08 %). A etapa de coagulação foi realizada em estufa (37 °C/ 40-60 minutos), seguida de dessoragem e fermentação *over-night* a temperatura ambiente (25 °C).

2.2.3 Elaboração do queijo cremoso

A fusão do gel lácteo foi realizada a 90 °C, com adição de citrato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1 %). Após foi adicionado creme de leite (20%), ricota (50 %), soro de leite líquido (45 %), sorbato de potássio (0,1 %) e polissacarídeos com diferentes percentuais, todos os percentuais foram calculados em relação a massa total (gel lácteo e ricota).

Foram elaboradas 12 amostras, sendo 6 amostras elaboradas com gel ácido e 0,2% de xantana variando a concentração de galactomanana codificadas como: A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1 = 0,1% de locusta; AXL2 = 0,2% de locusta; AXL3 = 0,3% de locusta; AXG1 = 0,1% de guar; AXG2 = 0,2% de guar; AXG3 = 0,3% de guar; e 6 amostras elaboradas com gel enzimático e 0,2% de xantana codificadas como: E = Controle sem polissacarídeos. EXL1 = 0,1% de locusta; EXL2 = 0,2% de locusta; EXL3 = 0,3% de locusta; EXG1 = 0,1% de guar; EXG2 = 0,2% de guar; EXG3 = 0,1% de guar.

2.2.4 Análises físico-químicas

Amostras de géis lácteos: as análises foram realizadas de acordo com AOAC (2005), para os parâmetros de pH, umidade, sólidos totais, resíduo mineral fixo, acidez em ácido láctico, glicídios redutores em lactose, lipídios e proteínas. Amostras de queijos cremosos: umidade, sólidos totais, pH; e resíduo mineral fixo (para as amostras padrões) foram realizadas de acordo com AOAC (2005). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.5 Índice de sinerese

As amostras após armazenamento em refrigeração foram pesadas ($15 \pm 0,1\text{g}$), centrifugadas a 10700 g (9000 rpm) (centrífuga refrigerada Janetzki, K24) e por 30 min. O índice de sinerese foi calculado conforme equação 1 (AICHINGER et al., 2003) depois de 7, 15 e 21 dias de armazenamento ($6 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

$$\% \text{ Sinerese} = \frac{P_s}{P_a} \cdot 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo: P_s = Peso do sobrenadante (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.6 Índice de separação de soro

As amostras após armazenamento em refrigeração foram pesadas ($15 \pm 0,1\text{g}$), drenadas sobre uma malha de 100 mesh com o auxílio de um funil, o soro coletado em um balão volumétrico (50 mL) previamente tarado. A porcentagem de soro liberado foi calculada através da diferença entre as pesagens do balão, utilizando para cálculo a equação 2 (ANTUNES, MOTTA e ANTUNES, 2003). Esta determinação foi realizada após 7, 15 e 21 dias de armazenamento ($6 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

$$\% \text{ Separação de soro} = \frac{P_s}{P_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo: P_s = Peso do soro liberado (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.7 Análises reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV

III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc[®] 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a 5 ± 1 °C. As análises reológicas foram realizadas nas amostras armazenadas por 7, 15 e 21 dias. A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento linear da taxa de deformação (curvas de ida) de 0,1 a $4,9 \text{ s}^{-1}$ para as amostras elaboradas com gel ácido e de 0,6 a $11,5 \text{ s}^{-1}$ para as amostras elaboradas com gel enzimático, nos primeiros 30 minutos de análise, retornando para as taxas iniciais nas curvas de volta nos 30 minutos posteriores. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata. Foi utilizado o modelo de lei de Potência (1), adaptado matematicamente, para descrever o comportamento de fluxo das amostras.

$$\eta = K \frac{1}{\dot{\gamma}^{n-1}} \quad (2)$$

Sendo: η - viscosidade aparente (Pa.s); K - índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1}); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

2.2.8 Análise estatística

A análise estatística dos valores médios obtidos nas análises físico-químicas, sinerese, separação de soro e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi realizada por Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 1% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab[®] (versão 7.5).

3. Resultados e Discussão

3.1 Planejamento experimental

O efeito das combinações entre os fatores de quantidade de soro de leite líquido, tipo de gel lácteo, tipo e concentração de polissacarídeos foram avaliadas utilizando estatísticas descritiva, histograma e polígono de frequência. Os resultados obtidos entre as combinações dos fatores e o índice de sinerese estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

É importante observar na Figura 1 que, os valores mais freqüentes estão presentes no quartil inferior, ou seja nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 22. Dentre as melhores formulações, ou seja, que apresentaram menores teores de sinerese após 7 dias de armazenamento, obteve-se aquelas com 35% e 45% de soro, com 0,2% de xantana para os dois tipos de géis lácteos.

Os valores mais freqüentes na Figura 2, estão presentes no quartil inferior, ou seja, nos 25% das formulações de queijos cremosos que possuem percentuais de sinerese não superior a 3,5% (Figura 2). Demonstrando que as melhores formulações foram os queijos cremosos com 35% de soro com 0,3% de guar e/ou locusta, para aqueles elaborados com coalhada enzimática. E aqueles queijos elaborados com coalhada ácida, demonstraram menor teor de sinerese, para os que foram elaborados com 45% de soro e 0,3% de guar e/ou locusta.

Para o estudo da comparação dos tipos de géis lácteos e da combinação de polissacarídeos, utilizaram-se as formulações obtidas pelo gel enzimático, com 45%

de soro, onde a xantana foi selecionada (base) e então combinada com os outros polissacarídeos (guar e locusta).

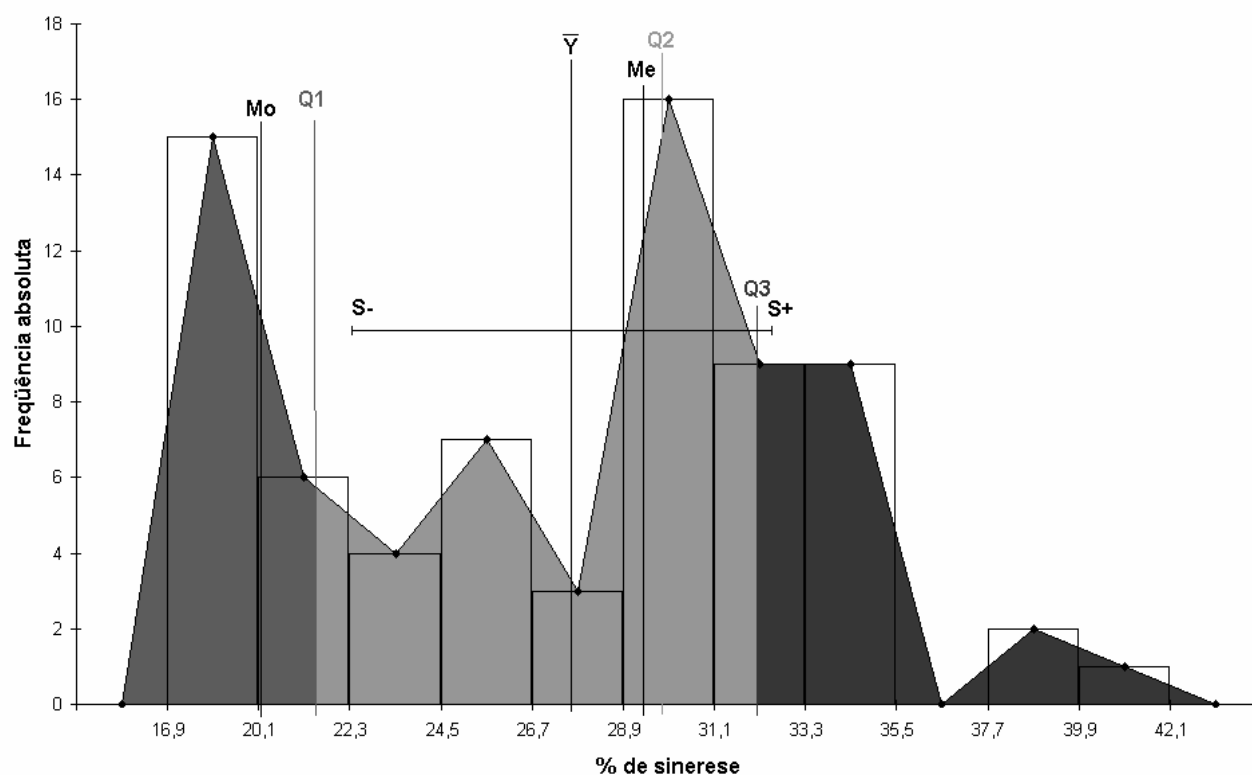


Figura 1. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,2% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

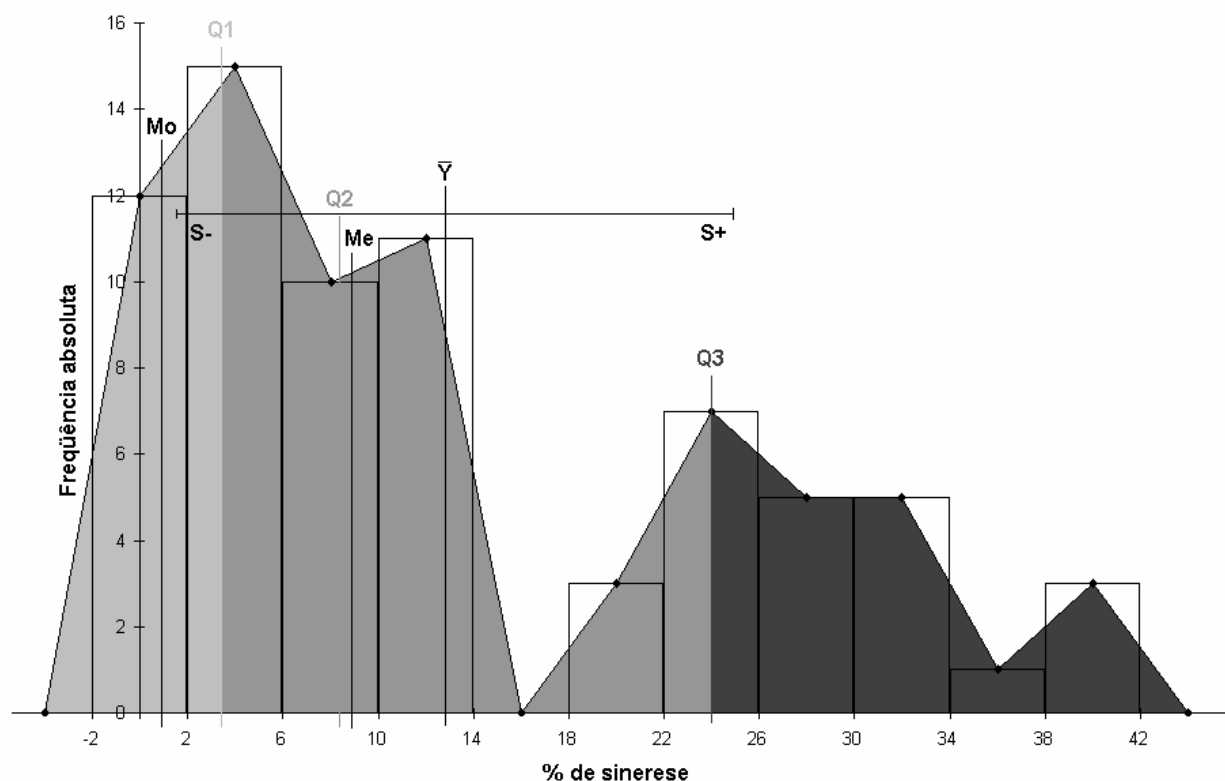


Figura 2. Histograma e polígono de frequência das Estatísticas Descritivas dos percentual de sinerese em diferentes formulações de queijos cremosos, com 0,3% de polissacarídeos, após 7 dias de armazenamento.

* Mo = moda; Me = mediana; \bar{Y} = média; S = desvio padrão; Q1 = Quartil 1; Q2 = Quartil 2; Q3 = Quartil 3.

3.2 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas dos géis lácteos e soros estão apresentados na Tabela 2. Os parâmetros que apresentaram diferença significativa ($p < 0,01$) foram pH, resíduo mineral fixo e acidez em ácido lático. Quanto ao parâmetro de resíduo mineral fixo, o gel enzimático e sua fração de soro apresentaram valores significativamente maiores de minerais. Os demais parâmetros de umidade,

sólidos totais, lipídios, proteínas e glicídios redutores em lactose, não apresentaram diferença significativa ($p < 0,01$) entre as amostras.

Os resultados das características físico-químicas dos queijos cremosos estão descritos da Tabela 3. Observando os resultados dos queijos cremosos elaborados com gel ácido, observa-se que os valores de pH que variaram de 5,58 a 5,71. Quanto ao teor de umidade e sólidos totais observou-se diferença significativa ($p < 0,01$) para duas amostras adicionadas de polissacarídeos (AXL2, AXL3), se comparadas com o Controle (A).

Quanto aos queijos cremosos elaborados com gel enzimático (Tabela 2), obteve-se valores de pH que variaram de 6,05 a 6,75. Quanto ao teor de umidade observou-se um aumento significativo ($p < 0,01$) para todas as amostras adicionadas de polissacarídeos, com conseqüente diminuição dos sólidos totais, se comparadas com o Controle (E). Os valores de resíduo mineral fixo, analisados para as amostras padrões (A e E) foram $2,18 (\pm 0,03)\%$ e $3,72 (\pm 0,15)\%$, respectivamente, demonstrando que o queijo cremoso elaborado com gel enzimático é significativamente ($p < 0,01$) mais mineralizado que o ácido.

Tabela 2. Análises físico-químicas dos géis e dos soros*.

Parâmetros	Géis		Soros	
	Ácido	Enzimático	Ácido	Doce
pH	4,85 ($\pm 0,03$) ^a	5,17 ($\pm 0,01$) ^b	4,59 ($\pm 0,01$) ^a	5,43 ($\pm 0,03$) ^b
Umidade (%)	64,79 ($\pm 0,30$) ^a	64,63 ($\pm 1,27$) ^a	93,53 ($\pm 0,13$) ^a	93,75 ($\pm 0,05$) ^a
Sólidos totais (%)	35,54 ($\pm 0,30$) ^a	35,37 ($\pm 1,27$) ^a	6,47 ($\pm 0,13$) ^a	6,25 ($\pm 0,04$) ^a
Lipídios (%)	16,19 ($\pm 3,85$) ^a	15,04 ($\pm 3,36$) ^a	0,40 ($\pm 0,02$) ^a	0,52 ($\pm 0,06$) ^a
Proteínas (%)	12,92 ($\pm 0,65$) ^a	13,19 ($\pm 0,62$) ^a	0,82 ($\pm 0,01$) ^a	0,74 ($\pm 0,01$) ^a
Resíduo mineral fixo (%)	0,53 ($\pm 0,46$) ^a	1,55 ($\pm 0,23$) ^b	0,61 ($\pm 0,16$) ^a	0,21 ($\pm 0,43$) ^b
Acidez, em ácido láctico (%)	0,48 ($\pm 0,02$) ^a	0,27 ($\pm 0,02$) ^b	0,53 ($\pm 0,11$) ^a	0,38 ($\pm 0,01$) ^b
Glicídios redutores, em lactose (%)	5,75 ($\pm 0,32$) ^a	5,40 ($\pm 0,39$) ^a	4,31 ($\pm 0,05$) ^a	4,10 ($\pm 0,09$) ^a

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey.

As teorias de coagulação envolvem a presença do cálcio na formação do gel lácteo (JEN e ASHWORTH, 1970; McMAHON et al., 1984; SAVELLO e ERNSTROM, 1989; FOX e McSWEENEY, 1998; FENNEMA, 2005; BANSAL et al., 2006), através das ligações fosfocálcicas, interações iônicas entre as cargas positivas da para- κ -caseína e as cargas negativas das caseínas α_s e β . Na formação da coalhada ácida, a caseína precipitada solubiliza o cálcio coloidal que fica retido no soro, esta perda de cálcio não ocorre com a coalhada enzimática. No gel enzimático ainda se procede com adição de CaCl_2 , aumentando o teor deste sal, provavelmente explica a facilidade de hidratação das proteínas do gel enzimático, com uma maior interação com os polissacarídeos e conseqüente maior capacidade de retenção de água.

Tabela 3. Análises físico-químicas de queijos cremosos*.

Amostras**	pH	Sólidos Totais g/100 g	Umidade g/100 g	Resíduo Mineral Fixo g/100 g
Controle A	5,71 ^a _a (0,03)	24,41 ^a _a (±0,47)	75,59 ^a _a (±0,47)	2,18 _{,03)}
AXL1	5,58 ^b _a (±0,01)	25,28 ^{ac} _a (±0,29)	74,72 ^{ac} _a (±0,29)	-
AXL2	5,64 ^b _a (±0,03)	26,35 ^{bc} _a (±0,39)	73,65 ^{bc} _a (±0,39)	-
AXL3	5,58 ^b _a (±0,08)	26,57 ^{bd} _a (±0,30)	73,46 ^{bd} _a (±0,35)	-
AXG1	5,70 ^{ac} _a (±0,01)	25,55 ^{acd} _a (±0,32)	74,45 ^{acd} _a (±0,32)	-
AXG2	5,65 ^{bc} _a (±0,05)	24,40 ^a _a (±0,23)	75,59 ^a _a (±0,23)	-
AXG3	5,62 ^b _a (±0,04)	24,86 ^a _a (±0,39)	75,14 ^a _a (±0,39)	-
Controle E	6,32 ^a _b (±0,04)	29,97 ^{ac} _b (±0,22)	70,03 ^{ac} _b (±0,22)	3,72 (±0,15)
EXL1	6,05 ^c _b (±0,04)	32,76 ^{bc} _b (±0,29)	67,17 ^{bc} _b (±0,33)	-
EXL2	6,38 ^a _b (±0,11)	33,52 ^b _b (±0,48)	66,48 ^b _b (±0,48)	-
EXL3	6,75 ^b _b (±0,02)	32,18 ^{bc} _b (±0,63)	67,82 ^{bc} _b (±0,63)	-
EXG1	6,57 ^{bd} _b (±0,05)	33,31 ^b _b (±0,81)	66,69 ^b _b (±0,81)	-
EXG2	6,47 ^{ad} _b (±0,05)	31,37 ^{bc} _b (±0,17)	68,63 ^{bc} _b (±0,17)	-
EXG3	6,63 ^{bd} _b (±0,06)	33,97 ^b _b (±1,24)	66,03 ^b _b (±1,24)	-

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes (p<0,01) por teste de separação de médias de Tukey, sendo as letras sobrescritas (à esquerda), a relação entre as formulações com mesmo gel lácteo e o as letras subscritas (à direita), a relação entre os dois géis lácteos.

**Amostras contendo 0,2% de xantana. Amostras A, foi utilizado gel ácido, Amostras E, foi utilizado gel enzimático. A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1, AXL2, AXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; AXG1, AXG2 e AXG3e contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente. E = Controle sem polissacarídeos. EXL1, EXL2 e EXL3 contendo 0,1% , 0,2% e 0,3% de locusta; EXG1, EXG2 e EXG3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente .

3.3 Índice de sinerese

Os resultados do índice de sinerese estão apresentados na Tabela 4. Comparando as amostras de queijos cremosos elaboradas com diferentes géis lácteos

(padrões A e E), observou-se que as amostras elaboradas com gel ácido, apresentaram menor habilidade na capacidade de retenção de água, havendo diferença significativa ($p < 0,01$) se comparadas com as amostras elaboradas com coalhada enzimática. Isto pode ser explicado de acordo com Fox e McSWEENEY (1998), que consideram que valores de $\text{pH} < 5,8$ favorecem a solubilização do cálcio coloidal, que passa a alterar o balanço dos componentes da rede protéica. Essa remoção do cálcio coloidal aumenta a repulsão eletrostática entre as moléculas de caseína, causando uma dissociação das caseínas. Segundo Lucey (2002), a adição de CaCl_2 pode restabelecer as ligações com cálcio coloidal e caseínas. Favorecendo a diminuição dos teores de sinerese nos queijos elaborados com gel enzimático.

Analisando a influência dos polissacarídeos para os queijos cremosos elaborados com gel ácido, temos após 7 dias de armazenamento, a formulação AXL3 apresentou uma maior retenção de água, apresentando diferença significativa ($p < 0,01$) se comparado com as demais amostras. Após 15 dias de armazenamento, as amostras AXL2 e AXG1 mostraram comportamento semelhante, sendo que as três amostras apresentaram valores de índice de sinerese em média 30% menores se comparadas com o Controle A. Observando, essas amostras, que apresentaram os menores índices de sinerese, com 21 dias de armazenamento, pode-se observar que a amostra AXL3, apresentou diferença significativa ($p < 0,01$) neste parâmetro em relação às demais amostras. Assim analisando todo o período de armazenamento, observa-se que a combinação de xantana/locusta, apresentou menores índices de sinerese.

Quanto às amostras de queijos cremosos, elaborados com gel enzimático, observou-se que, após 7 dias de armazenamento, a formulação EXL2 apresentou diferença significativa ($p < 0,01$) quanto a retenção de água, quando comparada com as

demais amostras. Após 15 dias de armazenamento, no entanto, as formulações EXL1, EXL2 e EXL3 apresentaram os menores índices de sinerese. Com 21 dias de armazenamento as amostras EXL2 e EXG3 não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,01$).

Tabela 4. Índices de sinerese dos queijos cremosos*.

Amostras**	Armazenamento (Dias)		
	7	15	21
Controle A	31,64 ^{a a} _a ($\pm 0,39$)	21,49 ^{a b} _a ($\pm 0,47$)	26,19 ^{a c} _a ($\pm 0,16$)
AXL1	30,43 ^{b a} _a ($\pm 0,47$)	13,46 ^{b b} _a ($\pm 0,47$)	17,09 ^{b c} _a ($\pm 0,12$)
AXL2	17,83 ^{c a} _a ($\pm 0,11$)	6,45 ^{c b} _a ($\pm 0,24$)	15,34 ^{c a} _a ($\pm 0,52$)
AXL3	14,38 ^{d a} _a ($\pm 0,19$)	6,01 ^{c b} _a ($\pm 0,01$)	10,49 ^{d c} _a ($\pm 0,24$)
AXG1	23,16 ^{e a} _a ($\pm 0,09$)	7,62 ^{c b} _a ($\pm 0,41$)	26,33 ^{a c} _a ($\pm 0,54$)
AXG2	36,52 ^{f a} _a ($\pm 0,42$)	12,43 ^{f b} _a ($\pm 0,38$)	31,25 ^{e c} _a ($\pm 0,05$)
AXG3	28,12 ^{g a} _a ($\pm 0,18$)	13,37 ^{b b} _a ($\pm 0,28$)	26,34 ^{a c} _a ($\pm 0,30$)
Controle E	10,85 ^{a a} _b ($\pm 0,04$)	16,28 ^{a a} _b ($\pm 0,65$)	22,87 ^{a a} _a ($\pm 2,96$)
EXL1	7,48 ^{b a} _b ($\pm 0,16$)	4,77 ^{b b} _b ($\pm 0,01$)	6,79 ^{b c} _b ($\pm 0,24$)
EXL2	3,08 ^{d a} _b ($\pm 0,09$)	4,46 ^{b b} _a ($\pm 0,03$)	4,11 ^{b b} _b ($\pm 0,56$)
EXL3	5,23 ^{a f} _b ($\pm 0,06$)	4,95 ^{b b} _b ($\pm 0,05$)	7,34 ^{d b} _b ($\pm 0,12$)
EXG1	6,72 ^{c a} _b ($\pm 0,19$)	5,87 ^{b b} _b ($\pm 0,02$)	6,82 ^{b a} _b ($\pm 0,82$)
EXG2	9,73 ^{e a} _b ($\pm 0,09$)	8,92 ^{d b} _b ($\pm 0,01$)	13,60 ^{c c} _b ($\pm 0,21$)
EXG3	5,52 ^{f a} _b ($\pm 0,04$)	8,88 ^{d b} _b ($\pm 0,01$)	4,33 ^{d a} _b ($\pm 0,17$)

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo letras sobrescritas (à esquerda), a relação entre as formulações com mesmo gel lácteo; letras subscritas (ao centro), a relação entre os dois géis lácteos, e as letras sobrescritas (à direita), é a relação aos dias de armazenamento. **Amostras contendo 0,2% de xantana. Amostras A, foi utilizado gel ácido, Amostras E, foi utilizado gel enzimático. A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1, AXL2, AXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; AXG1, AXG2 e AXG3e contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente. E = Controle sem polissacarídeos. EXL1, EXL2 e EXL3 contendo 0,1% , 0,2% e 0,3% de locusta; EXG1, EXG2 e EXG3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente.

Quando comparadas as combinações de polissacarídeos, a combinação xantana/guar, em média, apresentou maiores índices de sinerese durante o armazenamento das amostras. Segundo Phillips e Willians (2000), isto pode ser explicado devido à estrutura, do polissacarídeo locusta, permitir associações intercadeia, conduzindo à formação de agregados pseudocristalinos, que impedem a penetração da água. E, também, pelas baixas interações sinérgicas entre as gomas xantana e guar.

3.4 Índice de separação de soro

Os resultados do índice de separação de soro estão apresentados na Tabela 5. As amostras elaboradas com gel enzimático (Controle E) apresentaram menor separação de soro, diferenciando significativamente ($p < 0,01$) das amostras elaboradas com gel ácido (Controle A). De acordo com os resultados encontrados por Lucey (2002), que avaliou as propriedades físicas de géis enzimáticos e lácteos e verificou maior separação de soro na superfície em géis ácidos. Este fato também pode ser explicado de acordo com Pearse e Mackinlay (1989), que afirmam que a adição de cálcio diminui a sinerese, possivelmente como um resultado de efeitos iônicos ou possivelmente como o resultado do cálcio ocupar sítios nas caseínas que, em caso contrário, participariam na expulsão de soro.

Analisando queijos cremosos elaborados com diferentes géis lácteos durante o período de armazenamento, observou-se que o Controle E, não apresentou redução no teor de sinerese durante o armazenamento. Mas, quando comparado com o Controle A o índice de separação foi 47% menor. Segundo Lucey (2001, 2002), a

pressão endógena em géis enzimáticos não é constante. Seu aumento inicialmente é uma função do tempo depois da coagulação, mas diminui ao longo do tempo, presumidamente devido a fusão da para- κ -caseína e uma redução na permeabilidade da rede contraída. Ocorrem rearranjos das caseínas até uma estrutura mais compacta, aumentando os números de ligações e diminuindo a energia livre do sistema. No entanto, as partículas são parte da rede protéica, as quais podem ser deformadas ou quebradas localmente para formar novas ligações, quando submetidas às condições como, aquecimento e agitação, promovendo a sinerese. O que pode ter ocorrido durante o processo de fusão do gel lácteo para elaboração do queijo cremoso.

Analisando a influência dos polissacarídeos nos queijos elaborados com gel ácido, armazenadas por 7 dias, observou-se que ocorreu uma redução significativa na separação de soro das amostras com polissacarídeos, quando comparadas com o Controle (A). As análises realizadas após 15 dias de armazenamento indicaram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre o Controle (A) e as amostras adicionadas de polissacarídeos, onde a quantidade de soro retida nas amostras contendo xantana/guar foi menor, quando comparadas com as amostras contendo xantana/locusta. As amostras com polissacarídeos, armazenadas por 21 dias, apresentaram redução significativa ($p < 0,01$) na separação de soro, comparando os dias de armazenamento, onde as amostras AXL2 e AXL3, apresentaram maior retenção de soro, demonstrando a eficiência dos *blends* ao longo período de armazenamento.

Tabela 5. Índices de separação de soro dos queijos cremosos*.

Amostras**	Armazenamento (Dias)		
	7	15	21
Controle A	23,59 ^{a a} _a ($\pm 0,37$)	31,50 ^{a b} _a ($\pm 0,39$)	19,48 ^{a c} _a ($\pm 0,23$)
AXL1	8,85 ^{b a} _a ($\pm 0,11$)	23,32 ^{b b} _a ($\pm 0,43$)	9,24 ^{b a} _a ($\pm 0,12$)
AXL2	6,29 ^{cde a} _a ($\pm 0,44$)	18,15 ^{c b} _a ($\pm 0,18$)	5,28 ^{c c} _a ($\pm 0,07$)
AXL3	6,38 ^{c a} _a ($\pm 0,48$)	16,37 ^{d b} _a ($\pm 0,42$)	5,24 ^{c a} _a ($\pm 0,12$)
AXG1	5,13 ^{d a} _a ($\pm 0,09$)	28,46 ^{e b} _a ($\pm 0,30$)	6,63 ^{d a} _a ($\pm 0,32$)
AXG2	13,53 ^{e a} _a ($\pm 0,43$)	32,88 ^{f b} _a ($\pm 0,11$)	6,38 ^{d c} _a ($\pm 0,08$)
AXG3	6,76 ^{c a} _a ($\pm 0,20$)	29,28 ^{e b} _a ($\pm 0,21$)	11,43 ^{e c} _a ($\pm 0,47$)
Controle E	0,50 ^{a a} _b ($\pm 0,01$)	2,69 ^{a a} _b ($\pm 1,01$)	8,51 ^{a b} _b ($\pm 1,34$)
EXL1	0,49 ^{a a} _b ($\pm 0,01$)	2,11 ^{a b} _b ($\pm 0,01$)	0,65 ^{b c} _b ($\pm 0,02$)
EXL2	0,38 ^{c a} _b ($\pm 0,01$)	0,23 ^{b b} _b ($\pm 0,01$)	0,47 ^{b c} _b ($\pm 0,01$)
EXL3	0,24 ^{d a} _b ($\pm 0,04$)	0,44 ^{b b} _b ($\pm 0,01$)	0,58 ^{b c} _b ($\pm 0,01$)
EXG1	0,21 ^{d a} _b ($\pm 0,03$)	0,39 ^{b b} _b ($\pm 0,01$)	0,32 ^{b c} _b ($\pm 0,01$)
EXG2	0,26 ^{d a} _b ($\pm 0,01$)	2,08 ^{a b} _b ($\pm 0,01$)	0,39 ^{b c} _b ($\pm 0,01$)
EXG3	0,35 ^{c a} _b ($\pm 0,01$)	0,24 ^{b b} _b ($\pm 0,01$)	0,27 ^{b c} _b ($\pm 0,01$)

*Valores dentro da linha não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo letras sobrescritas (à esquerda), a relação entre as formulações com mesmo gel lácteo; letras subscritas (ao centro), a relação entre os dois géis lácteos, e letras sobrescritas (à direita), é a relação aos dias de armazenamento. **Amostras contendo 0,2% de xantana. Amostras A, foi utilizado gel ácido, Amostras E, foi utilizado gel enzimático. A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1, AXL2, AXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; AXG1, AXG2 e AXG3e contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente. E = Controle sem polissacarídeos. EXL1, EXL2 e EXL3 contendo 0,1% , 0,2% e 0,3% de locusta; EXG1, EXG2 e EXG3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente .

Analisando as amostras elaboradas com gel enzimático, armazenada por 7 dias, com o Controle (E), observou-se que houve diminuição significativa ($p < 0,01$) no índice de separação de soro, com exceção da formulação EXL1. Após 15 dias de armazenamento, houve redução significativa de separação de soro para as amostras EXL2, EXL3, EXG1 e EXG3, comparadas com as demais amostras, que não

apresentaram diferença significativa do Controle (E). E após 21 dias de armazenamento, todas as amostras adicionadas de polissacarídeos apresentaram diminuição significativa ($p < 0,01$) na quantidade de soro se comparadas com a amostra sem polissacarídeos (Controle E). Analisando todo o período de armazenamento, a maioria das amostras adicionadas de polissacarídeos combinados, contribuíram para uma maior retenção de soro dos queijos cremosos, comparado com a amostra sem polissacarídeos (Controle E).

3.5 Análise reológica

Os parâmetros reológicos dos queijos cremosos estão apresentados na Tabela 6 (curvas de ida e volta). A determinação do coeficiente correlação (R) permitiu determinar que o modelo lei de Potência foi adequado para descrever o comportamento reológico dessas amostras. Através dos parâmetros obtidos por esse modelo (Tabela 6) (curvas de ida), quanto ao índice de consistência (K), comparando as amostras padrões (A e E), observou-se que os queijos cremosos elaborados com gel enzimático apresentaram maiores valores para este parâmetro, se comparados com aqueles elaborados com gel ácido. Esses resultados estão de acordo com Lucey (2002), que analisou as diferenças nas propriedades físicas de géis ácidos e enzimáticos, utilizando viscosímetro oscilatório, onde destacam que géis ácidos por serem menos viscosos, apresentam maior tendência para apresentar sinerese.

Tabela 6. Parâmetros reológicos dos queijos cremosos (modelo de lei de Potência) (Continua)*.

Armaze- namento	Amostras**	<i>Gel ácido</i>						
		Histerese (. 10 ³)	Curvas de ida			Curvas de volta		
			K (. 10 ³)	n	R	K (. 10 ³)	n	R
7 dias	Controle	1,58 ^{b a}	13,74 ^{a a}	0,10	0,98	12,24 ^{a a}	0,18	0,96
	AXL1	6,46 ^{c a}	43,02 ^{e a}	0,41	0,99	6,08 ^{b a}	0,43	0,91
	AXL2	8,28 ^{c a}	52,68 ^{d a}	0,22	0,97	6,89 ^{b a}	0,74	0,95
	AXL3	10,36 ^{a a}	55,02 ^{d a}	0,30	0,98	11,99 ^{a a}	0,36	0,98
	AXG1	3,23 ^{b a}	39,72 ^{b a}	0,83	0,95	0,29 ^{c a}	0,97	0,82
	AXG2	3,52 ^{b a}	22,40 ^{c a}	0,82	0,98	0,35 ^{c a}	0,82	0,62
	AXG3	1,03 ^{b a}	19,33 ^{ac a}	0,61	0,96	1,16 ^{c a}	1,09	0,77
15 dias	Controle	5,06 ^{c b}	17,58 ^{a a}	0,10	0,95	12,02 ^{a a}	0,21	0,93
	AXL1	1,61 ^{b b}	10,46 ^{b b}	0,52	0,96	2,39 ^{b b}	0,52	0,96
	AXL2	7,02 ^{d a}	37,45 ^{d b}	0,13	0,99	2,94 ^{b b}	0,39	0,99
	AXL3	13,23 ^{a b}	38,15 ^{d b}	0,16	0,99	3,53 ^{b b}	0,39	0,99
	AXG1	3,41 ^{b a}	9,99 ^{bc b}	0,89	0,96	1,80 ^{b a}	0,87	0,94
	AXG2	1,31 ^{b b}	11,19 ^{c b}	0,26	0,95	1,91 ^{b a}	0,90	0,96
	AXG3	1,81 ^{b a}	13,68 ^{c b}	0,38	0,96	1,94 ^{b a}	1,01	0,97
21 dias	Controle	0,42 ^{b a}	13,41 ^{a b}	0,49	0,83	11,48 ^{a a}	0,58	0,81
	AXL1	1,25 ^{bc b}	100,66 ^{b c}	0,95	0,90	0,83 ^{bd b}	1,48	0,94
	AXL2	2,83 ^{c b}	98,69 ^{b c}	0,21	0,91	3,06 ^{bc b}	0,79	0,99
	AXL3	10,69 ^{a a}	102,76 ^{b c}	0,12	0,99	3,48 ^{c b}	0,74	0,99
	AXG1	1,25 ^{bc b}	43,23 ^{d c}	0,90	0,90	0,96 ^{bc a}	1,48	0,94
	AXG2	0,44 ^{b b}	21,33 ^{c a}	0,93	0,92	0,73 ^{bd a}	0,73	0,83
	AXG3	0,79 ^{b a}	18,77 ^{c a}	0,42	0,92	0,64 ^{bc a}	1,39	0,98

Tabela 6. Parâmetros reológicos dos queijos cremosos (modelo de lei de Potência) *.

Armaze- namento	Amostras*	Histerese (.10 ³)	Gel enzimático					
			Curvas de ida***			Curvas de volta		
			K (. 10 ³)	n	R	K (. 10 ³)	n	R
7 dias	Controle	3,62 ^a _b	17,62 ^a _b	0,28	0,98	6,55 ^a _b	0,88	0,94
	EXL1	18,17 ^c _b	46,97 ^b _a	0,21	0,99	36,23 ^b _a	0,47	0,99
	EXL2	33,20 ^b _a	124,36 ^c _a	0,25	0,98	102,65 ^c _a	0,31	0,99
	EXL3	23,45 ^c _a	69,21 ^d _a	0,30	0,99	62,30 ^d _a	0,38	0,99
	EXG1	13,02 ^e _b	47,80 ^b _a	0,42	0,99	41,22 ^e _b	0,50	0,99
	EXG2	22,27 ^c _a	64,79 ^e _a	0,23	0,99	57,37 ^f _a	0,38	1,00
	EXG3	26,12 ^d _a	81,92 ^f _a	0,54	0,97	76,47 ^g _a	0,42	0,99
15 dias	Controle	6,34 ^a _b	27,98 ^a _b	0,28	0,97	6,90 ^a _b	0,85	0,97
	EXL1	25,22 ^c _b	54,75 ^b _b	0,25	0,99	51,17 ^b _b	0,23	0,99
	EXL2	36,99 ^b _b	104,31 ^e _b	0,28	0,99	90,61 ^f _b	0,44	0,99
	EXL3	19,33 ^d _b	54,10 ^{be} _b	0,29	0,99	43,15 ^d _b	0,44	0,99
	EXG1	23,96 ^c _b	63,77 ^d _b	0,40	0,98	50,99 ^b _a	0,51	0,99
	EXG2	33,56 ^b _b	77,37 ^c _b	0,19	0,99	65,34 ^c _b	0,42	0,99
	EXG3	18,76 ^d _b	85,37 ^c _b	0,49	0,95	75,34 ^e _a	0,44	0,99
21 dias	Controle	5,09 ^a _{ab}	37,77 ^a _c	0,16	0,98	25,52 ^a _b	0,30	0,96
	EXL1	12,37 ^b _c	55,37 ^b _b	0,19	0,99	35,57 ^b _a	0,32	0,99
	EXL2	36,80 ^d _b	91,42 ^c _c	0,21	0,99	75,78 ^c _b	0,41	0,99
	EXL3	12,17 ^b _c	49,36 ^d _c	0,31	0,99	39,09 ^b _c	0,50	0,99
	EXG1	10,23 ^b _c	59,95 ^e _c	0,52	0,99	47,35 ^d _c	0,49	0,99
	EXG2	14,06 ^e _c	61,44 ^f _c	0,38	0,99	53,71 ^e _c	0,44	0,99
	EXG3	33,19 ^c _c	71,22 ^g _c	0,42	0,98	63,58 ^c _c	0,42	0,99

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,01$) por teste de separação de médias de Tukey, sendo letras sobrescritas (à esquerda), a relação entre as formulações com mesmo gel lácteo; letras subscritas (ao centro), a relação entre os dois géis lácteos, e letras sobrescritas (à direita), é a relação aos dias de armazenamento. Os valores correspondem à média dos valores obtidos em duplicata.

Amostras contendo 0,2% de xantana. Amostras A, foi utilizado gel ácido, Amostras E, foi utilizado gel enzimático. A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1, AXL2, AXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; AXG1, AXG2 e AXG3e contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente. E = Controle sem polissacarídeos. EXL1, EXL2 e EXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; EXG1, EXG2 e EXG3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar respectivamente. * n = índice de comportamento de fluxo, K = índice de consistência, R = coeficiente de correlação.

As curvas do comportamento de fluxo das amostras de queijos cremosos elaborados com gel ácido (médias obtidas de todo o período de armazenamento) estão apresentadas na Figura 3. Onde a amostra com 0,2% de xantana e 0,3% de locusta (AXL3), apresentou maior viscosidade, que de acordo com a Tabela 4 apresentou menores valores de sinerese, se comparadas com a amostra Controle A. Pode-se observar que para estas amostras obtiveram-se taxas de cisalhamento não constantes, provavelmente por se tratar de queijos cremosos elaborados com gel ácido, obtida através da desnaturação protéica e conseqüentemente uma rede mais instável e pouco organizada.

As curvas do comportamento de fluxo das amostras elaboradas com gel enzimático na Figura 4. Analisando as taxas de cisalhamento, pode-se observar que a maioria das amostras apresentou valores constantes para este parâmetro. Possivelmente por se tratar de queijos cremosos elaborados com gel enzimático, o qual é obtido através da ação de proteases que hidrolisam a κ -caseína, especificamente entre os aminoácidos Fenilalanina-105 e Metionina-106, formando uma rede protéica organizada. Observou-se que a amostra com 0,2% de xantana e 0,2% de locusta (EXL2) apresentou maior viscosidade que as demais amostras. Onde fatores como, a combinação de polissacarídeos, a ação do sal fundente (citrato), a adição de CaCl_2 e o gel enzimático, contribuíram conjuntamente para melhorar o perfil de viscosidade. A presença de xantana passa a ser importante no que diz respeito a sua capacidade de formar complexo com sais (cálcio). Segundo Fox e McSWEENEY (1998), o cálcio coloidal aumenta a viscosidade de queijos, além da ação dos sais fundentes, como o citrato, que age como um quelante de cálcio, formando um complexo Cálcio-Citrato, com estabilidade constante, equilibrando o sistema e mantendo a atividade do cálcio.

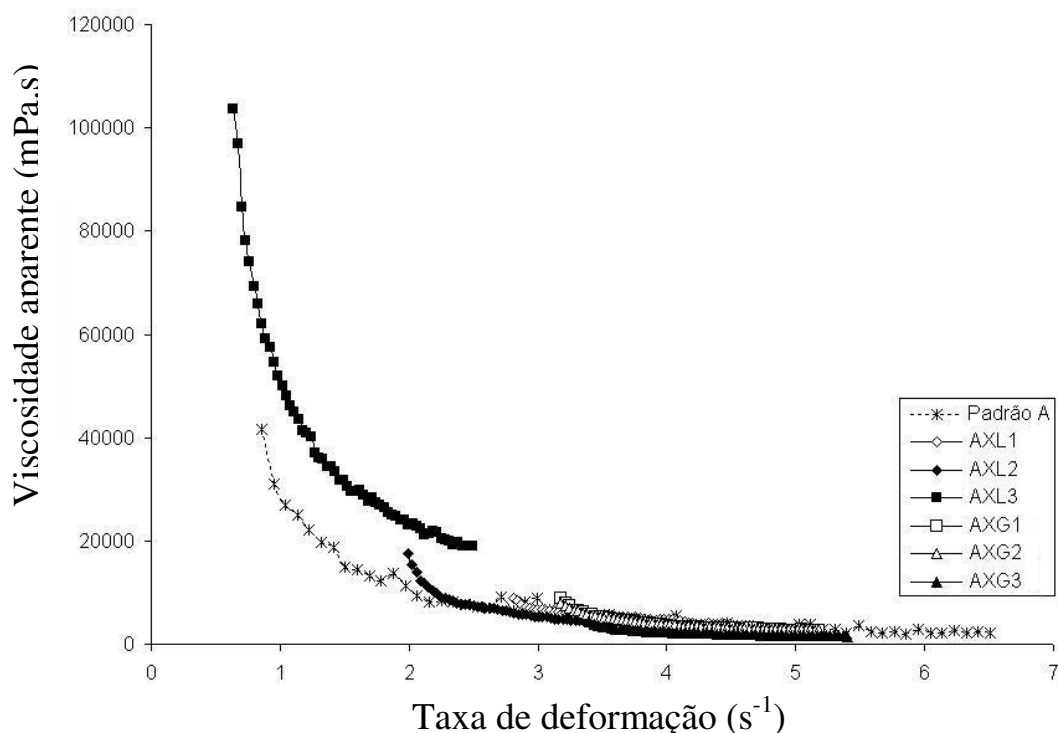


Figura 3. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos elaborados com gel ácido durante todo o período de armazenamento.

Média de duas repetições. Amostras contendo 0,2% de xantana e elaboradas utilizando gel ácido, A = Controle, sem polissacarídeos; AXL1, AXL2, AXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; AXG1, AXG2 e AXG3 e contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar, respectivamente.

Avaliando a influência dos polissacarídeos, observa-se que os valores de índice de consistência (K) das amostras variaram de 9,99 a 102,76 Pa.sⁿ para as amostras elaboradas com gel ácido, e para aquelas elaboradas com gel enzimático este índice variou de 17,62 a 124,36 Pa.sⁿ. Sendo que a combinação de polissacarídeos se mostrou mais efetiva nas amostras com gel enzimático, pois, em todo o período de armazenamento, houve um aumento significativo ($p < 0,01$) no índice de consistência se comparadas com o Controle (E).

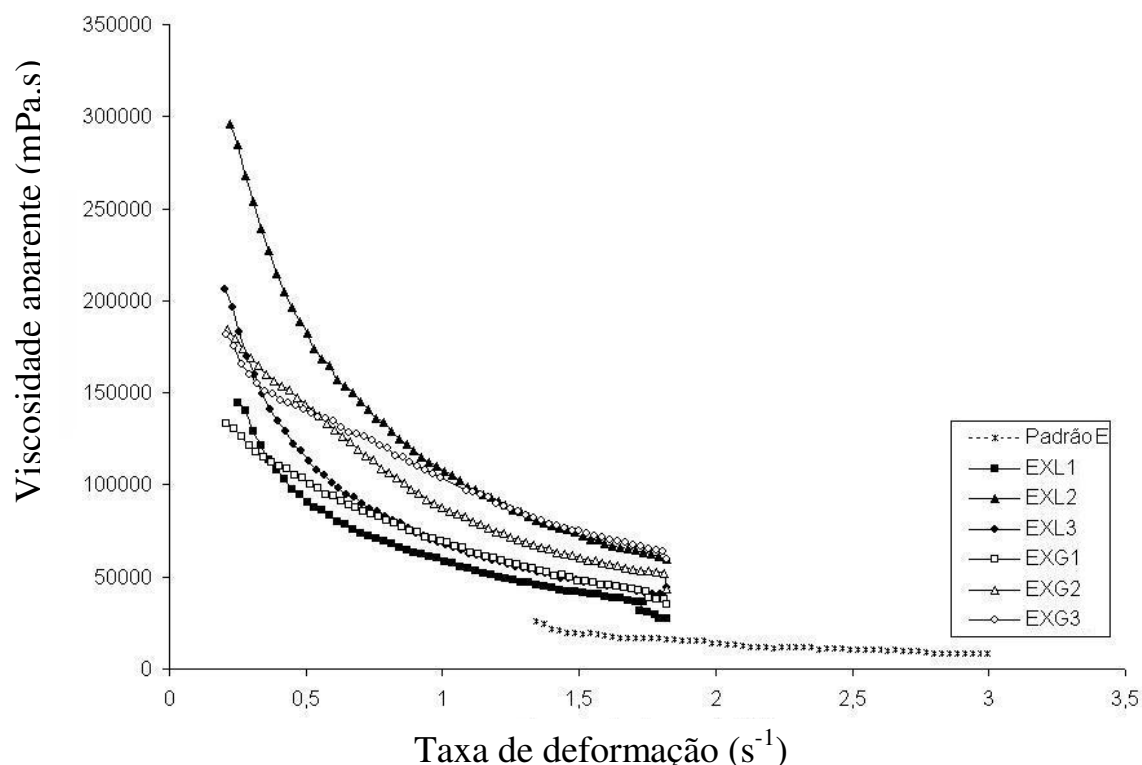


Figura 4. Comportamento de fluxo dos queijos cremosos elaborados com gel enzimático durante todo o período de armazenamento.

Média de duas repetições. Amostras contendo 0,2% de xantana e elaboradas utilizando gel enzimático. E = Controle sem polissacarídeos. EXL1, EXL2 e EXL3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de locusta; EXG1, EXG2 e EXG3 contendo 0,1%, 0,2% e 0,3% de guar, respectivamente.

Em relação ao índice de comportamento de fluxo (n), todas as amostras se comportaram como fluidos pseudoplásticos, o qual indica que a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação (Figuras 3 e 4), no entanto, as amostras elaboradas com gel ácido apresentaram valores entre 0,10 a 0,95 e, conseqüentemente, algumas mostraram-se menos pseudoplásticas se comparadas com àquelas elaboradas com gel enzimático, que apresentaram valores entre 0,16 a 0,54.

O comportamento tixotrópico pode ser avaliado através da histerese (TÁRREGA, DURAN e CISTELL, 2004), obtida a partir da área entre as curvas de ida e volta de viscosidade pela taxa de deformação, quanto maior a área maior o efeito tixotrópico (BRANCO e GASPARETTO, 2003). Os valores (Tabela 6) mostram uma diminuição significativa ($p < 0,01$) da histerese nas amostras com gel ácido (Controle A) durante todo o armazenamento, se comparadas com as amostras elaboradas com gel enzimático (Controle E). Possivelmente pela maior tensão requerida para iniciar a degradação do produto, semelhante aos resultados de Prudêncio (2001), que avaliou o comportamento tixotrópico de queijo petit suisse. Para as amostras elaboradas com polissacarídeos, o comportamento em termos de histerese foi semelhante às amostras padrões.

O comportamento de fluxo das amostras foi avaliado, também em termos de diminuição da taxa de deformação (curva de volta), observou-se a diminuição do índice de consistência (K) e o aumento do índice de comportamento de fluxo (n), em relação às curvas de ida (aumento da taxa de deformação), para todas as amostras. Provavelmente devido à quebra estrutural da rede protéica, indicando que a quebra tixotrópica da estrutural foi irreversível, semelhante aos resultados de Penna, Sivieri e Oliveira (2001), que analisaram as propriedades reológicas de bebidas lácteas comerciais brasileiras. Este comportamento favoreceu com que os queijos cremosos avaliados adquirissem características mais próximas de um fluido Newtoniano (diminuição da pseudoplasticidade), principalmente quando se trata das amostras elaboradas com géis ácidos.

4. Conclusão

Os géis enzimáticos, por possuir uma rede protéica mais organizada e mineralizada, apresentaram maiores valores para viscosidade entre os queijos cremosos, além de apresentar menores teores de sinerese e separação de soro. Sendo que os polissacarídeos (xantana / guar e xantana / locusta) também contribuíram para maximizar a viscosidade aparente. As amostras elaboradas com xantana/locusta na proporção de 0,2% de cada polissacarídeo e gel enzimático, apresentaram maior consistência, menores índices de sinerese e de separação de soro dentre as amostras.

5. Referências

- AICHINGER P.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.; ROUVET, M.; D'AMICO, N; ZINK,R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chimosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.31, p.243-255, 2003.
- ALEXANDER, M. e DALGLEISH, D.G. Application of transmission diffusing wave spectroscopy to the study of gelation of milk by acidification and rennet. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v..38, p. 83-90, 2004.
- ANEMA, S.G.; LEE, S.K. E KLOSTERMEYER, H. Effect of heat treatment on the hydrolysis of κ -casein and the gelation of skim mlk by chimosin. **LWT**, v. 40, p. 99-106, 2007.
- ANTUNES, A.E.C.; MOTTA, E.M.P.; ANTUNES, A.J. Perfil de textura e capacidade de retenção de água de géis ácidos de concentrado protéico de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23 (Supl), p.183-189, dez.2003.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.
- BANSAL, P.S.; GRIEVE, P.A.; MARSCHKE, R.J.; DALY, N.L.; McGHIE, E.; CRAIK, D.J.; ALEWOOD, P.F. Chemical synthesis and structure elucidation of bovine κ -casein (1-44). **Biochemical and Biophysical Research Communication**, v. 340, p. 1098-1103, 2006.
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.2, p. 173-178, 2003
- FENNEMA, Owen R.. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2005.
- FOX, P.F. e McSWEENEY, P.L.H. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. Blackie Academic & Professional: UK, 1998. 396 p.

GAUCHE, C. **Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas de iogurte elaborado após tratamento enzimático**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC).

HORNE, D.S. Casein micelles as hard spheres: limitations of the model in acidified gel formation. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical Eng. Aspects**, v. 213, p.255-263, 2003.

JEN, J.J. e ASHWORTH, U.S. Factors influencing the curd tension of rennet coagulated milk. Salt Balance. **Journal of Dairy Science**, v. 53, n.9, p.1201-1206, 1970.

KRUIF, C.G. Casein Micelle Interactions. **International Dairy Journal**, v.9, p. 183-188, 1999.

LUCEY, J.A. ADSA Foundation Scholar Award. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 2, p. 281-284, 2002.

LUCEY, J.A. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. **Food Hydrocolloids**, v.15, p.603-608, 2001.

McCLEMENTS, D.J. Non-covalent interactions between proteins and polysaccharides. **Biotechnology Advances**, v. 24, p. 621-625, 2006.

McMAHON, D.J. et al. Effects of calcium, phosphate, and bulk culture media on milk coagulation properties. **Journal Dairy Science**, v. 67, p. 939-938, 1984.

NÁJERA, A.I.; RENOBALLES, M. de; BARRON, L.J.R. Effects of pH, temperature, CaCl_2 and enzyme concentrations on the rennet-clotting properties of milk: a multifactorial study. **Food Chemistry**, v.80, p. 345-352, 2003.

PEARSE, M.J. e MACKINLAY, A.G. Biochemical aspects of syneresis: A review. **Journal of Dairy Science**, v.72, p. 1401-1407, 1989.

PENNA, A.L.B.; SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 7-13, 2001.

PHILLIPS, G.O. e WILLIAMS, P.A. **Handbook of hydrocolloids**. CRC Press: Cambridge, 2000.

PRUDÊNCIO, I.D. **Propriedades físicas de queijo *Petit Suisse* elaborado com retentado de soro de queijo e estabilidade de antocianinas e betalaínas adicionadas**. 2006. 87p.

Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).

SAVELLO, P.A. e ERNSTROM, C.A. Microstructure and meltability of model process cheese made with rennet and acid casein. **Journal Dairy Science**, v.72, p. 1-11, 1989.

TÁRREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 345-353, 2004.

6. Influência da transglutaminase microbiana na formação de gel lácteo e nas propriedades de queijos cremosos

Influência da transglutaminase microbiana na formação de gel lácteo e nas propriedades de queijos cremosos

A transglutaminase (TG) é uma enzima que promove ligações cruzadas de muitas proteínas, sendo que as proteínas lácteas são excelentes substratos para esta enzima. Neste estudo, avaliou-se a influência das ligações cruzadas promovidas pela TG nas etapas de coagulação de leite por renina, e seu impacto nas propriedades físico-químicas e físicas de queijos cremosos elaborados com estes géis lácteos, independentemente do tratamento térmico do leite, além da pasteurização e do tempo de coagulação. A transglutaminase foi adicionada às amostras de leite comercial, na proporção de 0,5 U/g de proteína. A transglutaminase foi adicionada 7 minutos antes, simultaneamente e 7 minutos depois da adição da renina ao leite. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos (umidade, sólidos totais, proteína) dos géis lácteos enzimáticos e dos queijos cremosos. As propriedades físicas tais como índice de sinerese, separação de soro e comportamento reológico foram avaliados nos queijos cremosos. Os géis lácteos elaborados com leites tratados previamente com transglutaminase, apresentaram maiores teores de proteína e menores índices de sinerese. A amostra de queijos cremosos elaboradas com gel em que a TG foi adicionada 7 minutos depois da adição da renina apresentou forte correlação (94,83%) na análise de componentes principais com os parâmetros físico-químicos (proteína e sólidos totais) e físicos (índice de consistência, índice de comportamento de fluxo e características tixotrópicas). Apresentando os menores índices de separação de soro e sinerese, e maior teor de proteínas, sólidos, viscosidade, e características tixotrópicas

(dependentes de tempo). Todas as amostras apresentaram comportamentos pseudoplástico com tixotropia.

Palavras-chave: *transglutaminase, renina, reologia, queijo cremoso, géis lácteos enzimáticos.*

1. Introdução

Tradicionalmente, géis lácteos são obtidos por acidificação ou coagulação enzimática. Estes géis estão estabilizados principalmente por ligações não covalentes fracas. A introdução de novas ligações covalentes no sistema protéico lácteo pode ser utilizado para produzir géis com estruturas diferentes dos géis lácteos tradicionais (SCHORSCH et al., 2000). Em muitos alimentos, as proteínas desempenham um papel muito importante na qualidade do produto e determinam muitas das propriedades funcionais desses sistemas (YASIR et al., 2007). Modificações enzimáticas são sugeridas como um método útil devido a alta especificidade das reações enzimáticas e deste modo, baixo risco de formação de produtos tóxicos. A enzima que está sendo muito estudada e aceita para catalisar a formação de ligações covalentes entre moléculas de proteínas é a transglutaminase (TG) (ÖZRENK, 2006; JAROS et al., 2006; IMM, LIAN e LEE, 2000).

As pesquisas com aplicações da transglutaminase começaram com o isolamento da enzima de tecidos de mamíferos e sangue. TG isolada de fígado de porco da Índia (GTGase) por possuir altos preços não foi atrativa para aplicação. Ainda pela necessidade de requerer cálcio para sua ativação. Isto é negativo em alguns casos onde há proteínas que precipitam com cálcio. A TG do sangue também é restrita, por causa do pigmento vermelho e porque precisa de trombina para a ativação. Em 1989, teve-se o primeiro isolamento da TG microbiana, do *Streptoverticillium* S8112, que apresentou muitos pontos positivos comparando-a com as demais, como sua independência ao cálcio, baixa especificidade de substrato, baixo custo e diversas aplicações (JAROS et al., 2006).

A transglutaminase catalisa uma reação de transferência de grupos acila, na qual os grupos γ -carboxiamida de peptídeos ligados a resíduos de glutamina são os doadores de acila. E os peptídeos ligados aos resíduos de lisina (ϵ -amino) possuem a função de aceptores de acila. Quando o grupo ϵ -amino dos resíduos de lisina reagem como receptores de acila, ligações cruzadas (ligações isopeptídicas) intra- e intermoleculares são formadas, essas ligações são chamadas de ϵ -(γ -glutamina)lisina, que resultam na polimerização das proteínas (JAROS et al., 2006; DE JONG e KOPPELMAN, 2002). Outras duas reações que são catalisadas pela TG são a desaminação e a incorporação de amina. Sem aminas primárias na reação, a água se torna um aceptor de acila e os grupos γ -carboxiamida dos resíduos de glutaminas são desaminados, tornando-se resíduos de ácido glutâmico (ÖZRENK, 2006). Esta enzima microbiana possui um peso molecular de aproximadamente 37,9 kDa, consistindo de 331 aminoácidos, que apresenta o ponto isoelétrico de 8,8, sendo considerada estável sob uma ampla faixa de pH. O sítio catalítico da transglutaminase microbiana possui um resíduo de cisteína, pode estar formada por 11 α -hélices e 8 folhas- β , que rodeiam este resíduo além da presença do ácido aspártico, importante para a formação do sítio ativo juntamente com a cisteína (KASHIWAGI et al., 2002).

A estrutura molecular das proteínas determina se as ligações cruzadas promovidas pela TG são possíveis e em que grau. As ligações cruzadas afetam as propriedades funcionais das proteínas (BÖNISCH et al., 2007a), com base nisso, muitas pesquisas tem sido realizadas demonstrando a influência dessas ligações, em diversos tipos de alimentos protéicos como proteína de soja (YASIR et al., 2007), géis ácidos (MYLLÄRINEN, BUCHERT e AUTIO, 2007; EISSA e KHAN, 2005), iogurtes (OZER et al., 2007; FARNSWORTH et al., 2006), ingredientes lácteos

reconstituídos (LORENZEN, 2007), na incorporação de proteínas do soro em queijo (COZZOLINO et al., 2003) e na coagulação das caseínas pela ação do coalho (BÖNISCH, HEIDEBACH e KULOZIK, 2008; BÖNISCH et al., 2007a; BÖNISCH et al., 2007b; HUPPERTZ e KRUIF, 2007; SCHORSCH et al., 2000).

Das proteínas do leite, as caseínas são particularmente excelentes substratos devido ao seu baixo nível de estruturas terciárias, tornando a proteína facilmente acessível (HUPPERTZ e KRUIF, 2007; BÖNISCH et al., 2007a). As caseínas reagem diferentemente com a transglutaminase, no entanto, β - e κ -caseínas apresentam alta reatividade comparadas com a α -caseína (SCHORSCH et al., 2000). Em contraste, as proteínas do soro, com a estrutura globular (estado nativo), são, por comparação, pouco propensas a reação de ligação cruzada, principalmente devido à estabilização da conformação globular pelas ligações dissulfídicas limitando a susceptibilidade dos sítios de ligação cruzada (BÖNISCH et al., 2007b). No entanto, as ligações cruzadas de proteínas do soro podem ser melhoras por uma prévia desnaturação através de tratamento térmico (BÖNISCH et al., 2007a). A polimerização das formas monoméricas das proteínas aumenta após o tratamento térmico do leite a 85 °C por 15 minutos e é menos intensa para a α_s -caseína (SHARMA, LORENZEN e QVIST, 2001). O pré-aquecimento do leite causa a desnaturação das proteínas do soro e sua interação com as micelas de caseína, através de ligações dissulfídicas com a κ -caseína, aumentando a susceptibilidade das proteínas à reação com a transglutaminase (O'SULLIVAN, KELLY e FOX, 2002; SHARMA, LORENZEN e QVIST, 2001). Um tratamento térmico de 93°C/3minutos desnatura as proteínas e essas interagem com a superfície das micelas via troca sulfidril κ -caseína-proteínas do soro (LUCEY et al., 1998). No caso da molécula de κ -caseína, a qual está localizada na superfície da

micela de caseína, quatro potenciais resíduos de glutamina estão localizados na sua estrutura, sendo que dois deles estão presentes na região hidrofílica do caseinomacropeptídeo (CMP), estes que estão disponíveis como sítios de ligação cruzada (BÖNISCH et al., 2008), ligações estas entre κ -caseína e TG que favorecem alto potencial de modificação nas propriedades de textura de produtos lácteos (LORENZEN, 2007). E que este tratamento com TG parece ser promissor na elaboração de queijos pelo aumento no rendimento deste produto (BÖNISCH et al., 2008; HUPPERTZ e KRUIF, 2007). Sendo que estudos específicos sobre a utilização de géis lácteos modificados enzimaticamente pela Transglutaminase na elaboração de queijos cremosos, ainda não foram publicados.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a influência das ligações cruzadas promovidas pela TG nas etapas de coagulação de leite por renina, e seu impacto nas propriedades físico-químicas e físicas de queijos cremosos elaborados com estes géis lácteos, independentemente do tratamento térmico do leite e do tempo de coagulação.

2. Material e Métodos

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a fabricação dos géis lácteos (Controle) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Bela Vista), coalho líquido (100% renina) (Bela Vista, SC, Brasil), cloreto de cálcio p.a. dihidratado (Vetec). Para a fabricação do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec), sorbato de sódio (Allimentus), creme de leite e ricota comercial.

A transglutaminase independente de Ca^{2+} (ACTIVA MP) foi fornecida pela empresa Ajinomoto no Brasil (Ajinomoto, São Paulo, SP, Brasil). Esta enzima (ACTIVA MP – composta por lactose, maltodextrina e transglutaminase) apresentou atividade enzimática média de 100 U/g (dado fornecido pela indústria). A enzima foi utilizada na sua forma original, sem qualquer purificação. O soro de leite utilizado foi obtido a partir da coagulação enzimática do leite com renina (Bela Vista, SC, Brasil). Os demais reagentes foram de qualidade analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Elaboração dos géis lácteos

O leite pasteurizado tipo C foi submetido a tratamento térmico (75°C / 13 minutos), seguido pelo resfriamento (42 °C). Foram adicionados os seguintes ingredientes: fermento lácteo liofilizado (0,2%), cloreto de cálcio 50 % p/v (0,4 %) e renina (0,05 %), obtendo-se o gel lácteo Controle (P). A adição da TG, na proporção de 0,5U/g de proteína foi realizada (GAUCHE, 2007), 7 minutos antes da adição de renina (TG + R), simultaneamente com a renina (TGR), e 7 minutos após a adição da renina (R + TG). As amostras foram mantidas em estufa para a etapa de coagulação (37 °C/ 40-60 minutos), seguida de dessoragem e fermentação *over-night* à temperatura ambiente (25 °C).

2.2.2 Elaboração dos queijos cremosos

A fusão dos géis lácteos, elaborados com diferentes tempos de adição de transglutaminase e renina, foi realizada a 90 °C em tacho aberto, com adição de

citrato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1 %). Após foram adicionados: creme de leite (20%), ricota comercial (50 %), soro de leite líquido (45 %) e sorbato de potássio (0,1 %), os percentuais foram calculados em relação à massa total (gel lácteo e ricota).

As amostras foram envasadas em recipientes de polipropileno e armazenadas em temperatura de refrigeração (5 °C).

2.2.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de umidade, sólidos totais e proteínas foram realizadas de acordo com AOAC (2005), para as amostras de géis lácteos, soros e queijos cremosos, após 7 dias de armazenamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.4 Índice de sinerese

As amostras de géis lácteos e queijos cremoso, após armazenamento em refrigeração, foram pesadas ($15 \pm 0,1$ g), centrifugadas a 10700 g (9000 rpm) (centrífuga refrigerada Janetzki, K24) por 30 min. O índice de sinerese foi calculado conforme equação 1 (AICHINGER et al., 2003) depois de 7, 15 e 21 dias de armazenamento (6 ± 1 °C).

$$\% \text{ Sinerese} = \frac{P_s}{P_a} \cdot 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo: P_s = Peso do sobrenadante (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.5 Índice de separação de soro

As amostras após armazenamento em refrigeração foram pesadas ($15 \pm 0,1\text{g}$), drenadas sobre uma malha de 100 mesh com o auxílio de um funil, o soro coletado em um balão volumétrico (50 mL) previamente tarado. A porcentagem de soro liberado foi calculada através da diferença entre as pesagens do balão, utilizando para cálculo a equação 2 (ANTUNES, MOTTA e ANTUNES, 2003). Esta determinação foi realizada após 7, 15 e 21 dias de armazenamento ($6 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), para as amostras de queijos cremosos.

$$\% \text{ Separação de soro} = \frac{P_s}{P_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo: P_s = Peso do soro liberado (g); P_a = Peso da amostra (g)

2.2.6 Medidas reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc[®] 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a $5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. As análises reológicas foram realizadas nas amostras de queijos cremosos, armazenadas por 7, 15 e 20 dias.

A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento linear da taxa de deformação (curvas de ida) de 2,58 a $4,59\text{ s}^{-1}$, nos primeiros 30 minutos de

análise, retornando para as taxas iniciais nas curvas de volta nos 30 minutos posteriores. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata.

O modelo reológicos utilizado para descrever o comportamento de fluxo das amostras, foi o de Lei de Potência (1).

$$\sigma = K (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); K - índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

O comportamento tixotrópico das amostras foi avaliado pela área das curvas de tensão de cisalhamento/taxa de deformação (histerese) e a dependência do tempo foi determinada através do modelo de Weltmann (2)(WELTMANN, 1943) a uma taxa de deformação média de 7,40 s⁻¹, durante 5400 segundos.

$$\sigma = \sigma_o - B \log t \quad (2)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); σ_o - tensão inicial requerida (Pa); B - coeficiente de ruptura tixotrópica ; t - tempo (s).

2.2.7 Eletroforese

Os leites adicionados de transglutaminase (100 µL) foram diluídos na proporção 1:3 com tampão da amostra (0,015 M de Tris HCl, 25 % de glicerol, 1 % SDS, 2,5 % de β-mercaptoetanol e 0,1 % de azul de bromofenol, pH 6,5). E os

respectivos soros obtidos da elaboração dos géis lácteos (100 µL) foram diluídos na proporção 2:1 com tampão da amostra.

Para a eletroforese das proteínas em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS/PAGE) utilizou-se cuba vertical (Mini Protein System, Bio Rad Laboratories, Califórnia, USA), espaçadores de 1 mm e, um sistema descontínuo composto por um gel de empacotamento (3,5 %) e um gel de separação (12 %), conforme descrito por Laemmli (1970). A eletroforese foi conduzida utilizando um tampão de corrida composto por Tris base (15 g/L), glicina (72 g/L) e SDS (5 g/L), pH 8,3. Todas as soluções foram preparadas utilizando água Milli-Q. O corante *Comassie Brilliant Blue* a 1 % foi utilizado na revelação em uma mistura de metanol (45 %), ácido acético glacial (10 %) e água destilada (45 %). Para a descoloração do gel preparou-se uma solução contendo metanol (50 %), ácido acético glacial (10 %) e água destilada (40 %) e, em seguida uma solução contendo ácido acético 7,5 %. A eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) foi realizada com a finalidade de observar os polímeros de alto peso molecular formados a partir da reação da transglutaminase com as proteínas lácteas.

2.2.8 Análise estatística

As concentrações utilizadas nas diferentes amostras foram obtidas através de testes preliminares. Foram avaliadas diferentes concentrações de soro líquido (25, 35 e 55%). Os resultados foram analisados através das Estatísticas Descritivas, a fim de obter as melhores formulações. A análise estatística dos valores médios obtidos nas análises físico-químicas e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi

realizada por Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 5% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab[®] (versão 7.5). As análises físico-químicas, de índice de sinerese, de separação de soro e reológicas foram avaliadas pela Análise de Componentes Principais, após a ANOVA, utilizando o software STATISTICA versão 6.0 (StatSoft 1984-2001, Tulsa OK 74104 USA).

3. Resultados e Discussão

3.1 Análises físico-químicas

Os valores médios obtidos nas análises físico-químicas dos géis lácteos, soros e queijos cremosos estão apresentados na Tabela 1.

Analizando os géis lácteos, a adição de transglutaminase contribui para o aumento significativo ($p < 0,05$) no teor de proteína e sólidos totais, quando a enzima foi adicionada 7 minutos após a renina (R + TG). Nas demais amostras não houve diferença significativa da Controle (P), de acordo com Cozzolino et al.(2003), que trabalhou com concentrações de 5-80U de tg/ g de proteína, a 25, 35 e 50 °C, e concentrações de 0,02% de renina, com tempo de coagulação de 30 minutos, observaram que a adição de transglutaminase antes e simultaneamente com a renina em leite pasteurizado para a produção do queijo, resultou na incorporação de 90% das proteínas do soro no gel lácteo.

Quanto às amostras de soros houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as análises de umidade, sólidos totais e proteína, somente para a amostra em que a TG

foi adicionada depois da renina (R + TG), houve uma redução de ~72% da concentração de proteínas quando comparadas com a amostra Controle (P).

Tabela 1. Análises físico-químicas dos géis lácteos, soros e queijos cremosos*.

Amostras**	Proteína (%)	Sólidos totais (%)	Umidade (%)
Géis lácteos			
P	12,01 ($\pm 0,06$) ^a	29,72 ($\pm 0,87$) ^a	70,28 ($\pm 0,87$) ^a
TGR	13,14 ($\pm 0,24$) ^a	36,83 ($\pm 1,09$) ^a	63,17 ($\pm 1,09$) ^a
TG + R	12,64 ($\pm 1,52$) ^a	36,18 ($\pm 1,75$) ^a	63,82 ($\pm 1,75$) ^a
R + TG	15,00 ($\pm 1,38$) ^b	37,74 ($\pm 0,43$) ^b	62,26 ($\pm 0,43$) ^b
Soros			
P	0,79 ($\pm 0,01$) ^a	90,16 ($\pm 0,50$) ^a	9,84 ($\pm 0,50$) ^a
TGR	0,70 ($\pm 0,01$) ^a	91,07 ($\pm 0,62$) ^a	8,93 ($\pm 0,62$) ^a
TG + R	0,72 ($\pm 0,01$) ^a	90,69 ($\pm 0,77$) ^a	9,31 ($\pm 0,77$) ^a
R + TG	0,57 ($\pm 0,01$) ^c	93,49 ($\pm 0,06$) ^b	6,51 ($\pm 0,06$) ^b
Queijos cremosos			
P	8,06 ($\pm 0,59$) ^a	23,58 ($\pm 2,08$) ^a	76,42 ($\pm 2,08$) ^a
TGR	13,31 ($\pm 0,54$) ^b	30,74 ($\pm 1,56$) ^{bc}	69,26 ($\pm 0,95$) ^{bc}
TG + R	12,02 ($\pm 1,02$) ^b	28,40 ($\pm 0,24$) ^b	71,60 ($\pm 0,24$) ^b
R + TG	15,67 ($\pm 0,96$) ^c	33,45 ($\pm 0,59$) ^c	66,55 ($\pm 0,59$) ^c

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.

Analisando os queijos cremosos, observou-se que as amostras adicionadas de transglutaminase apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) da amostra Controle (P), em termos de proteínas. Os maiores valores para este parâmetro, possivelmente refletiram a presença de ligações cruzadas intermoleculares, de acordo com o observado por Eissa e Khan (2005), que avaliando a gelatinização de proteínas de soro, puderam observar que com maiores quantidade de proteína, os agregados

primários tendem a se sobrepor extensivamente, e aumentar a chance de ligações entre as moléculas. Pode-se observar que, em nossos resultados, os parâmetros de umidade e sólidos das amostras com TG (TGR, TG + R, R + TG) diferenciaram significativamente ($p < 0,05$) da amostra Controle (P), demonstrando que a utilização de géis lácteos, onde suas proteínas foram submetidas a ligação cruzada por TG, modificaram a composição físico-química dos queijos cremosos.

3.2 Índice de sinerese e separação de soro

Os índices de sinerese dos géis lácteos e de separação de soro dos queijos cremosos elaborados com estes géis estão apresentados na Tabela 2. Analisando os géis lácteos, todas as amostras tratadas com transglutaminase apresentaram redução significativa ($p < 0,05$). Os valores foram reduzido em 25%, 56% e 64% no índice de sinerese, para TG + R, TGR e R + TG, respectivamente, quando comparadas com a Controle (P). Não houve diferença significativa neste parâmetro entre a amostra que recebeu adição simultânea da transglutaminase e renina (TGR) e àquela que recebeu adição de renina previamente a adição de TG (R).

Alguns trabalhos apresentam que o teor de sinerese é diminuído com a adição de transglutaminase, como em géis ácidos (LORENZEN, 2007) e iogurtes (FARNSWORTH et al., 2006; OZER et al., 2007). Conseqüentemente, refletindo na capacidade de retenção de água, como estudado em amostras de leite em pó tratadas com transglutaminase (IMM, LIAN e LEE, 2000). O aumento da concentração de proteínas de soro desnaturadas facilita a agregação dessas proteínas na superfície das caseínas, via interações sulfidrílicas entre κ -caseína e proteínas do soro, impedindo a formação de agregados maciços de caseínas, trocando a orientação das proteínas que

facilita a imobilização de água na rede protéica (BÖNISCH et al., 2008; IMM, LIAN e LEE, 2000).

Tabela 2. Análises de separação de soro e sinerese dos géis lácteos e queijos cremosos*.

Amostras**	Géis lácteos	Queijos cremosos	
	Sinerese	Separação de soro	Sinerese
P	6,19 ($\pm 0,68$) ^a	11,12 ($\pm 0,84$) ^a	32,88 ($\pm 0,14$) ^a
TGR	2,74 ($\pm 0,48$) ^c	4,63 ($\pm 0,40$) ^b	29,74 ($\pm 0,54$) ^b
TG + R	4,65 ($\pm 0,11$) ^b	9,94 ($\pm 0,29$) ^a	31,67 ($\pm 0,78$) ^a
R + TG	2,27 ($\pm 0,42$) ^c	3,35 ($\pm 0,24$) ^b	19,91 ($\pm 0,43$) ^c

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.

A adição de transglutaminase simultaneamente com a renina (TGR) e depois da renina (R + TG) nos géis lácteos, conferiu às amostras de queijos cremosos uma redução de aproximadamente 58% e 70% no índice de separação de soro, respectivamente, se comparadas com a Controle (P). Lucey (2001) define a ocorrência de sinerese devido ao “encolhimento” do gel, por rearranjo das cadeias protéicas, o qual conduz a separação de soro.

Em relação ao índice de sinerese nos queijos cremosos, a adição de transglutaminase, contribuiu para o menor valor neste parâmetro quando adicionada depois da renina (R + TG), representando ~40% de redução de sinerese quando

comparada com o Controle (P), podendo estar relacionado com os maiores teores obtidos de sólidos totais e proteínas para esta amostra (Tabela 1). De acordo com Farnsworth et al. (2006), géis formados com ligações cruzadas ϵ -(γ -glutamina)lisina apresentam melhores propriedades de capacidade de retenção de água. No caso desses autores, que avaliaram iogurtes elaborados com leites tratados com transglutaminase, apresentaram maior capacidade de retenção de reter água, e a separação de soro foi reduzida. Além disso, segundo Lorenzen et al. (2002), a polimerização das cadeias protéicas pode estabilizar a rede tridimensional do gel de iogurte e prevenir a expulsão de soro como resultado da diminuição dos poros do gel, reduzindo a sinerese.

Comparando os valores de sinerese dos géis lácteos e dos queijos cremosos, observou-se uma diferença para maior neste parâmetro para os queijos cremosos. Razão pela qual, essas amostras continham 45% de soro líquido. Isto pode ser explicado de acordo com LUCEY (2002), onde afirma que o tratamento mecânico das cadeias de proteínas é uma das razões de aumento do teor de sinerese.

3.3 Comportamento reológico

O comportamento de fluxo das amostras de queijos cremosos está apresentado na Figura 1, onde observa-se que as amostras tratadas com a enzima transglutaminase, na proporção 0,5U/g de proteína, apresentaram maiores teores de viscosidade aparente, se comparadas com a Controle (P). Sendo que a amostra em que se adicionou a transglutaminase depois da renina (R + TG), se mostrou mais viscosa que as demais tratadas com TG.

Resultados semelhantes foram obtidos por Farnworth et al. (2006), que avaliaram a viscosidade de iogurtes adicionados com transglutaminase (0,25 – 4 U/g de proteína), antes da fermentação. Onde a consistência, foi significativamente melhorada pela enzima, sendo que as amostras tratadas com 0,5 U de enzima, apresentaram maior viscosidade (~ 45000 Pa.s), se comparadas com o controle (sem TG), que apresentou viscosidade em torno de 22000 Pa.s.

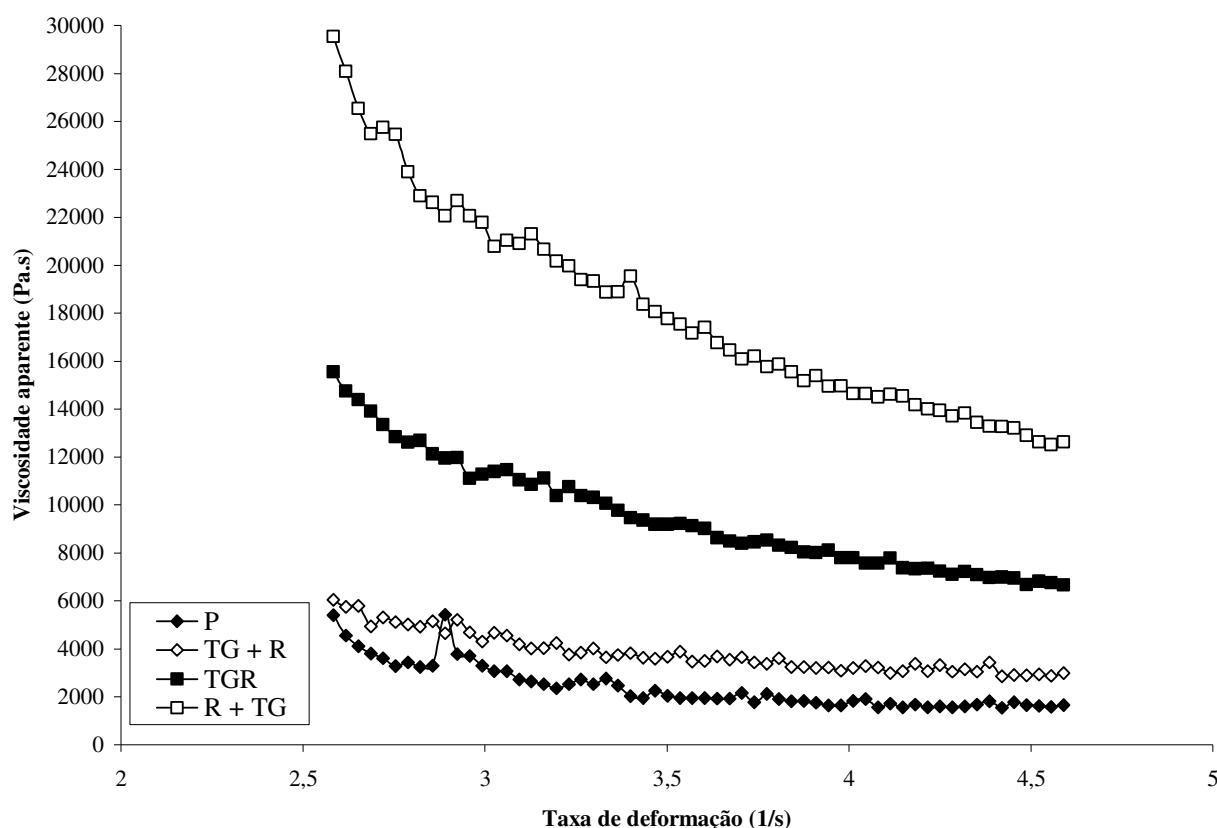


Figura 1. Curvas de comportamento de fluxo das amostras de queijo cremoso elaborados com adição de transglutaminase.

*As curvas representam os valores médios obtidos em duplicata. TG = 0,5 U/g de proteína.

** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.

As medidas do comportamento de fluxo das amostras foram obtidas através do modelo de lei de Potência (1), obtido pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento por taxa de deformação, plotados em coordenadas logarítmicas.

$$\sigma = K (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); K - índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional).

Os parâmetros reológicos obtidos através do modelo proposto, tanto para as curvas de ida (aumento da taxa de deformação) como para as curvas de volta (diminuição da taxa de deformação), estão apresentados na Tabela 3.

Através dos parâmetros obtidos pelo modelo de lei de Potência, para as curvas de ida (aumento da taxa de deformação), observa-se que o índice de consistência (K) apresentou diferença significativa (p<0,05) tanto para a amostra TGR quanto para a amostra R + TG, se comparada com a Controle (P). Sendo que a adição da transglutaminase depois da renina contribuiu mais positivamente para este parâmetro (K), aumentando consideravelmente a consistência das amostras. Segundo Bönisch et al. (2007a), baixas concentrações da transglutaminase (0,6-1,0 U/g de proteína) são significativas para aumentar os níveis de viscosidade comparando com amostras não tratadas com a enzima. Sendo que em nosso estudo a concentração de 0,5 U/g da enzima / g de proteína se mostrou efetiva, e no aumento no índice de consistência, possivelmente devido a capacidade da TG de conduzir a formação de polímeros de alto peso molecular a partir de monômeros de proteínas.

A transglutaminase, provavelmente promove ligações cruzadas com a parte C-terminal da κ -caseína, dificultando a ação da renina na formação do gel. A parte C-terminal da κ -caseína contém uma parte glicopeptídica, muito hidrofílica e as extremidades com tri ou tetrassacarídeos (contendo o ácido N-acetilneuramínico), contém por si só uma carga negativa global de -16 e -17, maior que a carga da parte N-terminal que é de -10 e -11 (FENNEMA, 2000), favorecendo seu papel como doador de radicais acila nas reações catalisadas por transglutaminase. A parte C-terminal possui na sua composição 14 glutaminas, sendo 4 reativas (CHRISTENSEN et al., 1996), possui uma estrutura em folha β do resíduo 159 a 169, o que torna esta parte da molécula (que está projetada para a superfície da micela) (FENNEMA, 2000), mais acessível a ação da enzima transglutaminase.

Tabela 3. Parâmetros reológicos das amostras de queijo cremoso obtidos pelo modelo lei da Potência*.

Amostra**	K (Pa.s ⁿ)***		n		Histerese (Pa.s ⁻¹)
	Ida	Volta	Ida	Volta	
P	16,44 ($\pm 1,70$) ^a	1,85 ($\pm 1,78$) ^a	0,21 ($\pm 0,04$) ^a	0,58 ($\pm 0,08$) ^a	4,57 ($\pm 1,04$) ^a
TGR	91,51 ($\pm 2,15$) ^b	16,73 ($\pm 2,36$) ^b	0,69 ($\pm 0,14$) ^b	0,88 ($\pm 0,03$) ^b	30,74 ($\pm 1,14$) ^b
TG + R	19,02 ($\pm 2,06$) ^a	3,40 ($\pm 1,00$) ^a	0,34 ($\pm 0,05$) ^a	0,75 ($\pm 0,01$) ^c	5,75 ($\pm 0,51$) ^a
R + TG	174,13 ($\pm 2,27$) ^c	8,02 ($\pm 0,31$) ^c	0,80 ($\pm 0,01$) ^b	0,92 ($\pm 0,02$) ^c	33,47 ($\pm 1,01$) ^b

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. Médias de três repetições. TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina. *** K = índice de consistência; n = índice de comportamento de fluxo (adimensional).

Acredita-se que este pode ser o mecanismo de ação da TG com a κ -caseína ligada à micela, sendo que a enzima interfere preferencialmente na fase primária da formação do gel lácteo, dificultando a quebra proteolítica da κ -caseína (BÖNISCH et al., 2008; HUPPERTZ e KRUIF, 2007), favorecendo a formação de um gel menos firme, como apresentando pela medida do índice de consistência (Tabela 3) e viscosidade aparente (Figura 1) na amostra em que a transglutaminase foi adicionada 7 minutos antes da renina (TG + R).

Analisando o índice de comportamento de fluxo (n) observou-se a proximidade das amostras a um fluido Newtoniano ($n=1$). Acredita-se que a adição de TG simultaneamente com renina (TGR) e depois da renina (R + TG), contribuiu para a diminuição da pseudoplasticidade das amostras, se comparadas com as amostras TG + R e P.

O comportamento de fluxo das amostras foi avaliado também após a diminuição da taxa de deformação (curva de volta), onde o índice de consistência foi reduzido, possivelmente pela quebra estrutural da rede protéica. A amostra TGR que apresentou o maior valor para este parâmetro (K), confirmando que o tratamento com transglutaminase apresentou efetividade na resistência da amostra à quebra estrutural.

Observa-se na Figura 2, as curvas de ida e volta, que representaram o efeito da taxa de deformação na tensão de cisalhamento das amostras de queijos cremosos (com e sem transglutaminase). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Gauche (2007), que avaliou as propriedades físicas de iogurtes elaborados após tratamento enzimático com transglutaminase. Onde durante o cisalhamento houve

intensa quebra da estrutura, o que refletiu na diminuição da tensão requerida com o aumento da taxa de deformação, devido à quebra das ligações que estabilizam a rede protéica. O resultado dessa quebra acentuada foi uma quebra linear da tensão de cisalhamento proporcional ao aumento da taxa de deformação. Além disso, a área entre as curvas de ida e volta (Figura 2) é observada, caracterizando a histerese (Tabela 3) e que o fluxo das amostras são dependentes do tempo, segundo Rimada e Abraham (2006). De acordo com Tárrega, Duran e Cistell (2004) e Lewis (1993), quanto maior a área entre essas curvas maior é a correlação com a característica tixotrópica, havendo um decréscimo da viscosidade aparente em função do tempo, em uma taxa de deformação constante.

As amostras tratadas com transglutaminase adicionada simultaneamente com renina (TGR) e a amostra tratada com transglutaminase depois da renina (R + TG), apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) na histerese se comparadas com as demais amostras (P e TG + R) (Tabela 3). O aumento significativo ($p < 0,05$) da histerese para as amostras TGR e R + TG, se comparadas somente com a Controle (P), demonstra que as ligações covalentes induzidas pela enzima TG, melhoraram as propriedades reológicas dos queijos cremosos apesar do intenso tratamento de cisalhamento, de acordo com Bönisch et al. (2007a e 2007b), que avaliaram as propriedades de iogurtes obtidos de leites tratados com transglutaminase.

Como as curvas das amostras de queijos cremosos apresentaram tixotropia (Figura 2), confirmando que são fluidos dependentes de tempo, avaliou-se esses parâmetros (dependentes de tempo) através do modelo de Weltmann (2), segundo Abu-Jdayil (2003) e estão apresentados na Tabela 4.

$$\sigma = A - B \log t \quad (2)$$

Sendo: σ - tensão de cisalhamento (Pa); A – tensão inicial requerida (Pa); B – coeficiente de ruptura tixotrópica ; t – tempo (s).

Analizando o parâmetro A, que indica a tensão inicial requerida para iniciar a quebra estrutural da amostra, este foi maior para aquelas amostras adicionadas de TG, devido à formação de uma rede mais estável à quebra pela presença dos polímeros. Observa-se que o parâmetro que indica a intensidade da degradação estrutural (B) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras TGR e R + TG em relação as demais (P e TG + R).

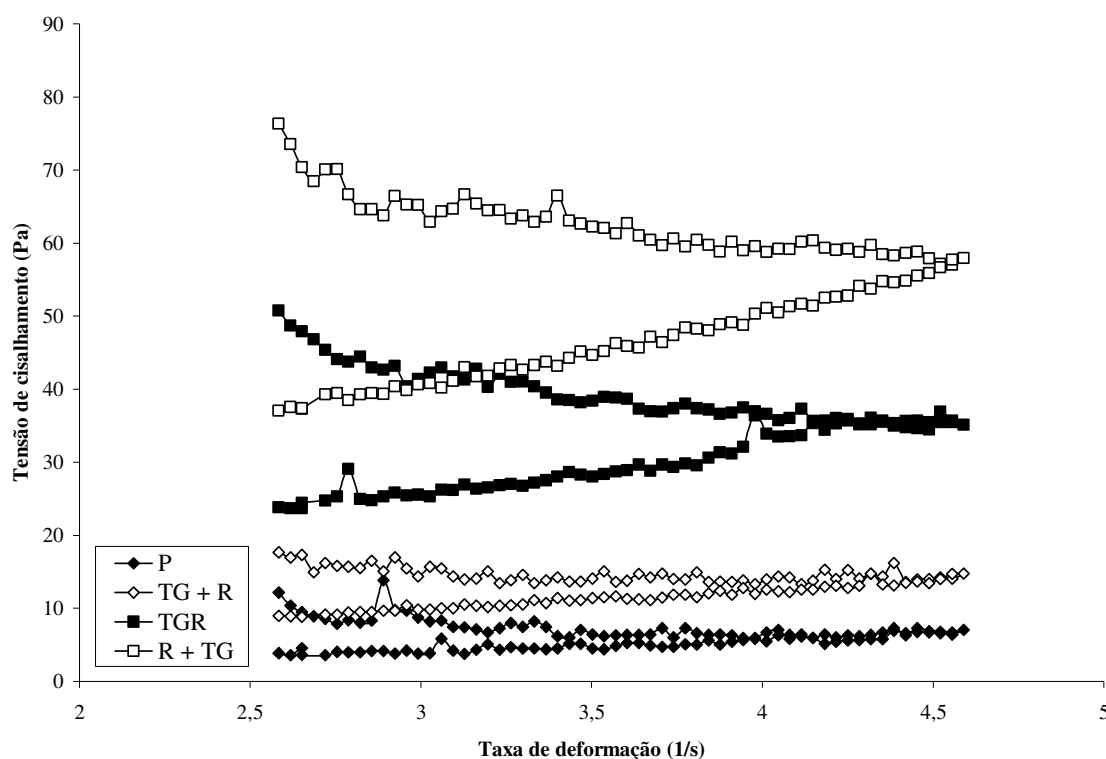


Figura 2. Representação da curva de histerese obtida através da tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação das amostras de queijo cremoso.

* TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.

Tabela 4. Parâmetros tixotrópicos obtidos através do Modelo de Weltmann para as amostras de queijos cremosos submetidas ao tratamento enzimático com transglutaminase*.

Amostras**	Parâmetros reológicos***		
	A	-B	R
P	17,72 ($\pm 1,12$) ^a	4,02 ($\pm 0,82$) ^a	0,99
TGR	77,63 ($\pm 1,26$) ^b	20,88 ($\pm 0,87$) ^b	0,97
TG + R	28,01 ($\pm 1,09$) ^c	7,16 ($\pm 0,93$) ^c	0,98
R + TG	85,31 ($\pm 1,23$) ^d	22,31 ($\pm 0,90$) ^b	0,99

*Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes ($p < 0,05$) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina. *** A = tensão inicial requerida (Pa); B – coeficiente de ruptura tixotrópica.

Observa-se na Figura 3 uma alta correlação do modelo empírico (Weltmann) utilizado para descrever o comportamento tixotrópico, com os dados de tensão de cisalhamento das amostras. Sendo que a uma taxa de deformação constante ($7,40 \text{ s}^{-1}$), a tensão de cisalhamento das amostras decresceu com o tempo, mais intensamente para a amostra Controle (P).

A análise de componentes principais (Figura 4) aplicada contribuiu para descrever a correlação dos grupos de dados físicos e físico-químicos, estabelecendo a relação entre as diferentes variáveis, e detectar os fatores mais importantes dessa variabilidade. O Fator 1 (PC1) é a combinação linear das variáveis físicas e físico-químicas que resume melhor a variação na matriz de dados original em um número simples, no entanto o Fator 2 (PC2) resume a melhor informação relacionando as variações das amostras.

As variáveis de intensidade da degradação estrutural (B), separação de soro (SS), umidade (U) e sinerese (S) foram correlacionadas fortemente e positivamente com o Fator 1. E as variáveis de sólidos totais (ST), índice de consistência (K), proteína (P), índice de comportamento de fluxo (n), tensão inicial requerida (A) e histerese (H), foram correlacionadas fortemente e negativamente com este fator (Tabela 5). Observa-se que houve a separação de dois grupos. Sendo que todas as variáveis foram bem representadas neste plano (Figura 4A), pois se apresentaram próximas a circunferência unitária de correlação.

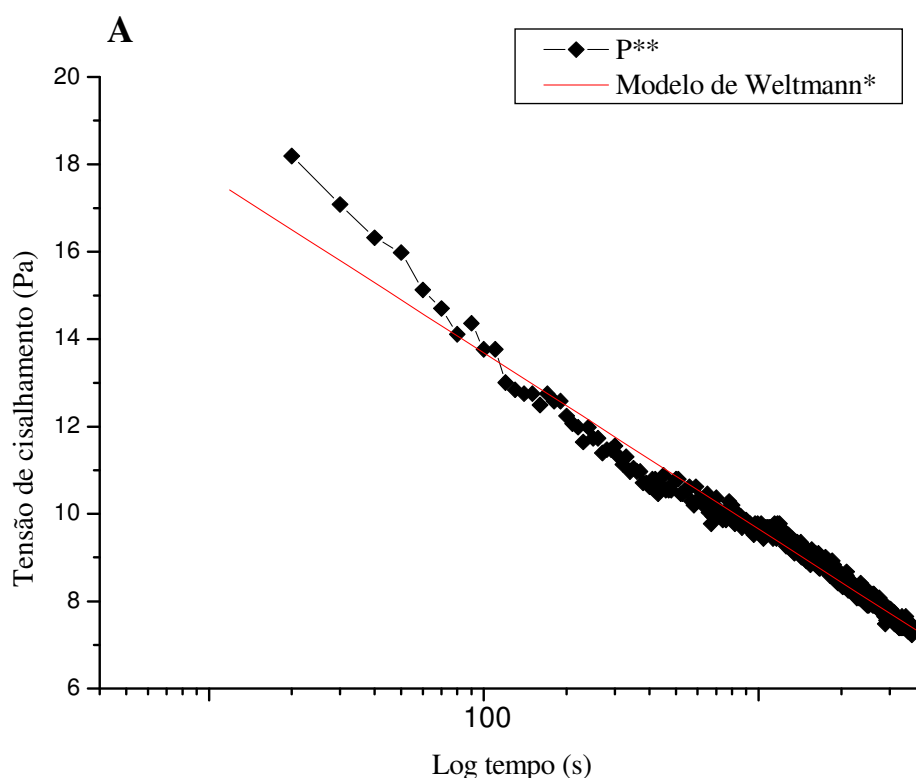


Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento *versus* log do tempo para os queijos cremosos a uma taxa de deformação constante de $7,40 \text{ s}^{-1}$ (Continua).

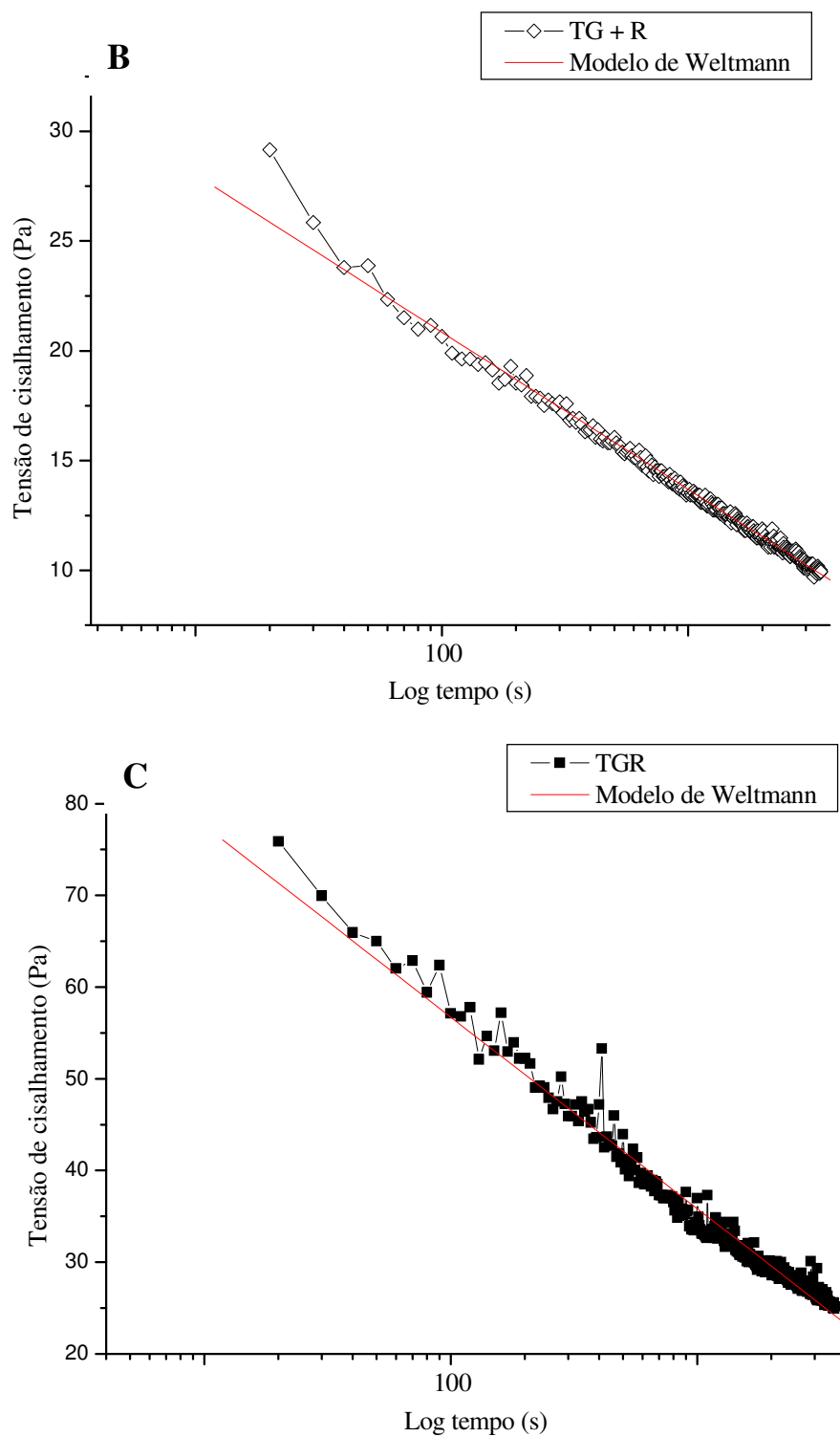


Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento *versus* log do tempo para os queijos cremosos a uma taxa de deformação constante de $7,40 \text{ s}^{-1}$ (Continua).

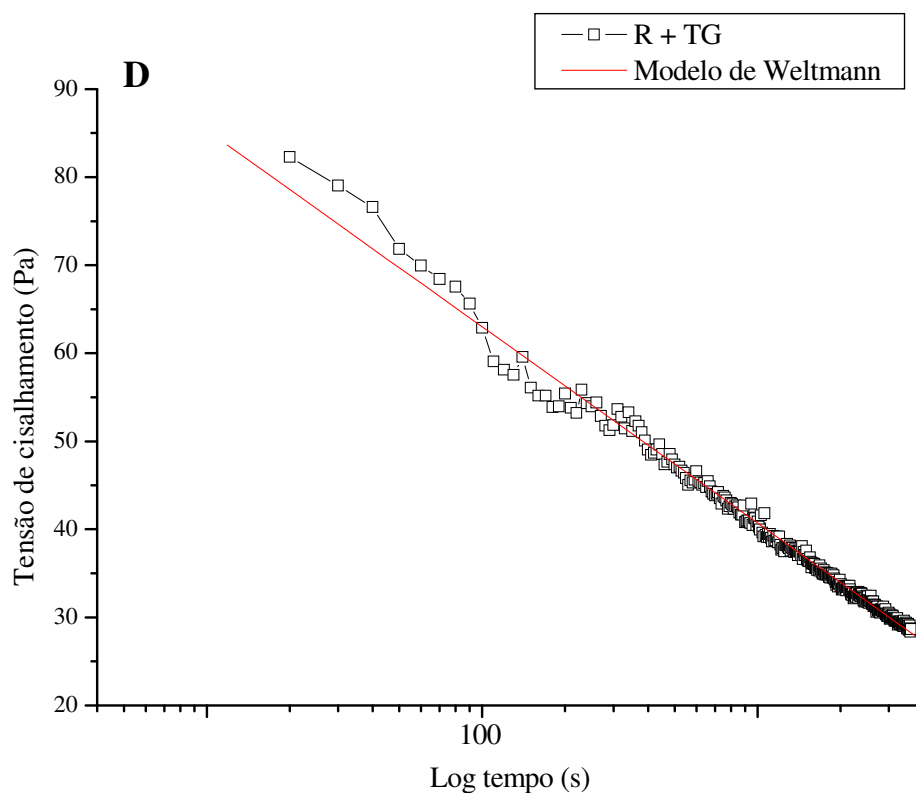


Figura 3. Relação entre tensão de cisalhamento *versus* log do tempo para os queijos cremosos a uma taxa de deformação constante de $7,40 \text{ s}^{-1}$.

*Linha contínua indica o Modelo de Weltmann. TG = 0,5 U/g de proteína. **As curvas representam os valores médios obtidos em triplicata.*** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.

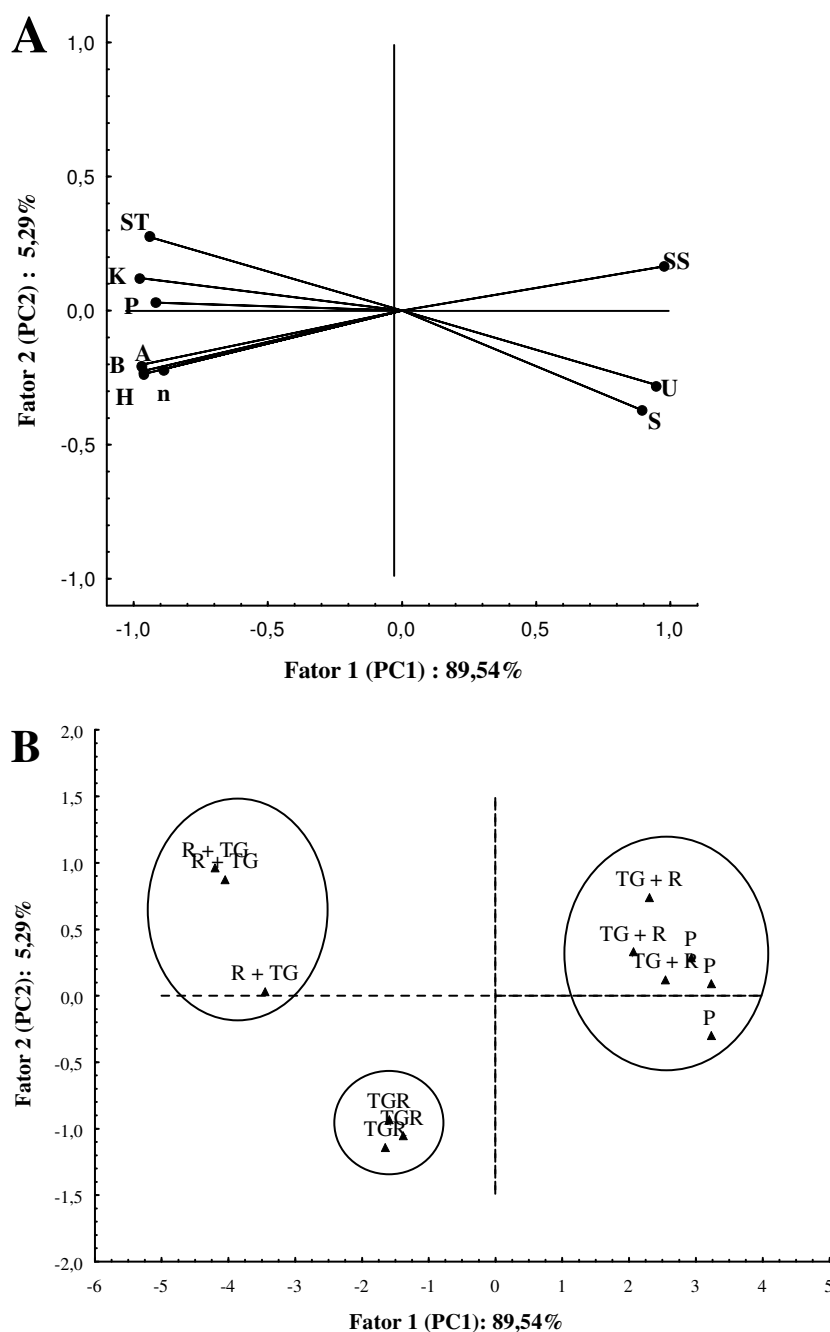


Figura 4. Análise de componentes principais, como uma função do primeiro (Fator 1-PC1) *versus* o segundo (Fator 2-PC2) componente. A) Representação das variáveis. B) Representação das amostras.

*Os dados representam os valores médios obtidos em triplicata. TG = 0,5 U/g de proteína. ** P = Controle, sem transglutaminase; TG + R = transglutaminase adicionada 7 minutos antes da renina; TGR = adição de transglutaminase simultaneamente com renina; R + TG = transglutaminase adicionada 7 minutos depois da renina.*** U = umidade; S = sinerese; SS = separação de soro; B = coeficiente de ruptura tixotrópica; ST = sólidos totais; K = índice de consistência; P = proteína; A = tensão inicial requerida; H = histerese; n = índice de comportamento de fluxo.

Tabela 5. Cargas fatoriais dos parâmetros físico-químicos, reológicos e tixotrópicos das amostras de queijos cremosos.

Parâmetros	Fator 1 (PC1) (89,54%)	Fator 2 (PC2) (5,29%)
Umidade	0,945335	-0,276062
Sólidos Totais	-0,945335	0,276062
Proteínas	-0,923565	0,030438
Sinerese	0,892950	-0,370824
Separação de Soro	0,973913	0,164832
Índice de consistência	-0,979629	0,121589
Índice de compostamento de fluxo	-0,891022	-0,218813
Histerese	-0,965870	-0,237635
Tensão inicial requerida	-0,965584	-0,225515
Coefficiente de ruptura tixotrópica	-0,974309	-0,202724

Dentre o primeiro grupo das variáveis (Figura 4A), o teor de unidade (U) está fortemente correlacionado com a sinerese (S), e estes correlacionados com a separação de soro (SS). Devido ao fato de que as proteínas apresentam a tendência ao rearranjo (LUCEY, 2001), e este rearranjo influencia na capacidade da rede de proteína de reter água, refletindo nestes parâmetros (U, S e SS).

O segundo grupo das variáveis obtido pela análise de componentes principais, demonstrou que os parâmetros reológicos de índice de consistência (K) está fortemente correlacionado com os parâmetros físico-químicos de sólidos totais (ST) e proteína (P). Além, da correlação desses valores com o índice de comportamento de fluxo (n) e os parâmetros tixotrópicos de tensão inicial requerida (A), coeficiente de ruptura tixotrópica (B) e histerese (H), que foram bem representados no plano, e apresentaram forte correlação entre si. De acordo com Dimitreli e Thomareis (2004), que avaliaram o efeito da temperatura e da composição

química na viscosidade aparente de queijos processados, afirmam que as moléculas de proteínas e de água compreendem a parte principal da fase contínua de queijos processados. Aumentando o conteúdo de proteína, aumenta-se o índice de consistência e deste modo a viscosidade aparente do queijo processado. O tratamento térmico de proteínas, freqüentemente, resulta em um rápido aumento de água e inchamento das proteínas desdobradas. Isto tem como resultado, o aumento do volume hidrodinâmico das proteínas e resistência ao fluxo, com conseqüente aumento da pseudoplasticidade.

Observando a Figura 4A, a histerese (H) foi fortemente correlacionada com os parâmetros tixotrópicos (A e B). Com a adição de transglutaminase nas amostras, estas apresentaram maior histerese (Tabela 3), que está relacionada com a formação de um gel mais firme, necessitando de mais força para degradar o material (MARUYAMA et al., 2006; MYLLÄRINEN, BUCHERT, AUTIO, 2007). Além do índice de consistência (K) que está altamente correlacionado com os teores de sólidos totais e proteínas, e forte relação negativa com a sinerese (S). Estudos relatam que o aumento da viscosidade aparente, de amostras de iogurtes elaborados com leite tratados com TG, são inversamente proporcionais aos índices de separação de soro (FARNSWORTH et al., 2006; OZER et al., 2007).

Analisando as amostras dos queijos cremosos (Figura 4B), obteve-se três grupos distintos. Onde a adição de transglutaminase após 7 minutos da adição de renina nos géis lácteos, contribuiu para maiores índices de consistências (K), resultado do aumento de sólidos totais (ST) e proteína (P) das amostras de queijos cremosos, pois, observando as análises de componentes principais, a amostra R + TG apresentou alta correlação com esses parâmetros. As amostras P e TG + R, estão

fortemente correlacionadas entre si e com os parâmetros de umidade (U), separação de soro (SS) e sinerese (S). Entretanto, a amostra TGR, não apresentou forte correlação com os parâmetros analisados.

Segundo Cozzolino et al. (2003), que estudaram a incorporação de proteínas de soro, através do uso de transglutaminase no gel lácteo, para elaboração de queijo, concluem que a melhor forma de adicionar a TG é quando esta é adicionada ao mesmo tempo que a enzima coagulante, ou no momento do corte do gel lácteo. De acordo com Bönisch et al. (2008), que avaliaram a influência da transglutaminase na ligação cruzada de proteínas na coagulação enzimática de caseínas, observaram que quando a transglutaminase é adicionada TG simultaneamente com a renina, as propriedades de coagulação são diminuídas. Em nosso estudo, observou-se que na amostra em que a transglutaminase foi adicionada 7 minutos depois da renina, as propriedades coagulantes foram preservadas e a transglutaminase, mostrou-se efetiva, contribuindo para o melhoramento das propriedades físicas e físico-químicas dos queijos cremosos, como podemos observar nas correlações apresentadas pela análise de componentes principais (Figura 4B).

3.4 Perfil Eletroforético

O perfil eletroforético em SDS-Page está apresentado na Figura 5. Observando a amostra R + TG (colunas 18 e 19), em que a transglutaminase foi adicionada 7 minutos depois da renina, houve um aumento na intensidade das bandas que indicam os polímeros de peso molecular 45000 Da, se comparadas com as demais amostras adicionadas de transglutaminase (colunas 8, 9, 13 e 14). As bandas de β - +

κ -caseínas foram reduzidas, após 10 minutos de coagulação para esta amostra (R + TG), de acordo com Schorch et al. (2000), que afirmou que essas caseínas (β - e κ -) possuem maior reatividade com a transglutaminase, e essa associação das caseínas β - e κ -, também foi observada por Sharma, Lorenzen e Qvist (2001). A diminuição nas bandas de caseínas possivelmente é o resultado da reação de polimerização promovida pela TG, de acordo com as observações de Ozer et al. (2007) e Huppertz e Kruif (2007), o que possivelmente favoreceu os melhores resultados para esta amostra (R + TG) em termos dos parâmetros físico-químicos, de sinerese e reológicos, principalmente o aumento no índice de consistência. Outras reações possivelmente contribuíram para esses parâmetros, de acordo com Gauche et al. (2008), que avaliou ligações cruzadas promovidas pela transglutaminase em proteínas de soro, essas ligações aumentaram os índices de consistências das amostras tratadas com a enzima, considerando as hipóteses propostas por Babiker (2000) e confirmadas por Yasir et al. (2007), que sugerem que reações catalisadas por transglutaminase podem conduzir ao aumento de consistência. Desde que a água esteja abundante em solução, juntamente com a transglutaminase, ocorre a hidrólise dos resíduos de glutamina da proteína a resíduos de glutamato, onde a ligação ϵ -(- γ -glutamina)lisina é formada e subsequente hidrolisada a glutamato e lisina, ou o resíduo de glutamina é hidrolisado diretamente a glutamato.

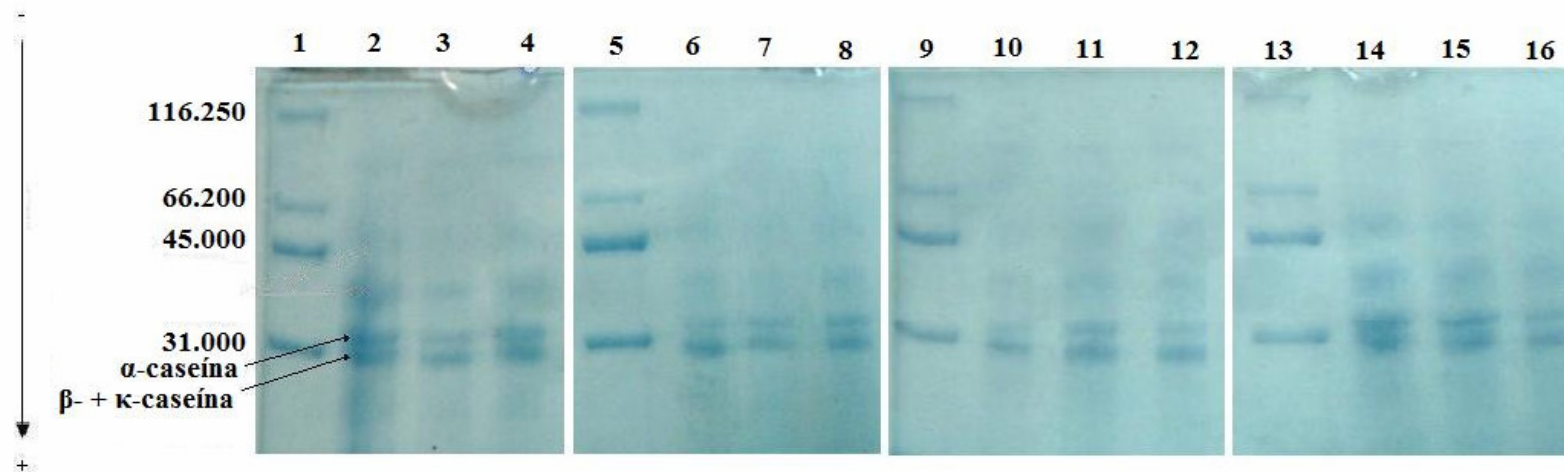


Figura 5. Perfil de eletroforese em SDS-Page de amostras de leites tratados com transglutaminase e renina.

Leites sem transglutaminase (amostra P), nos tempos de coagulação de 0 min (coluna 2), 5 min (coluna 3) e 10 min (coluna 4). Leites adicionados de transglutaminase e renina simultaneamente (amostra TGR), nos tempos de coagulação de 0 min (coluna 6), 5 min (coluna 7) e 10 min (coluna 8). Leites adicionados de transglutaminase antes da renina (amostra TG + R), nos tempos de coagulação de 0 min (coluna 10), 5 min (coluna 11) e 10 min (coluna 12). Leites adicionados de renina antes da transglutaminase (amostra R + TG), nos tempos de coagulação de 0 min (coluna 14), 5 min (coluna 15) e 10 min (coluna 16). Massas molares (colunas 1, 5, 9, 13). TG = 0,5 U/g de proteína.

4. Conclusão

As reações promovidas pela transglutaminase nas diferentes etapas de coagulação do leite para obtenção de géis lácteos, foram avaliadas. Sendo que as amostras elaboradas com a enzima transglutaminase após a adição de renina apresentaram os melhores resultados na formação de géis lácteos. As amostras de queijos cremosos elaborados com estes géis e soro lácteo líquido, apresentaram teores de proteínas e índice de consistência significativamente maiores ($p < 0,05$), e índices de sinerese e separação de soro significativamente ($p < 0,05$) menores. Confirmando que a transglutaminase contribuiu para preservar as propriedades coagulantes do leite adicionando à transglutaminase 7 minutos após a renina e compensar as possíveis alterações que podem ocorrer pela adição de soro na formulação dos queijos cremosos.

5. Referências

ABU-JDAYIL, B. Modelling the time-dependent rheological behaviour of semisolid foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 97-102, 2003.

AICHINGER, P.-A.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMAN, M.-L.; ROUVET, M.;
D'AMICO, N.; ZINK, R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chimosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 31, p. 243-255, 2003.

ANTUNES, A.E.C.; MOTTA, E.M.P.; ANTUNES, A.J. Perfil de textura e capacidade de retenção de água de géis ácidos de concentrado protéico de soro de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23 (Supl), p.183-189, dez.2003.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.

BABIKER, E.E. Effect of transglutaminase treatment on the functional properties of native and chymotrypsin-digested soy protein. **Food Chemistry**, v. 70, p. 139-145, 2000.

BÖNISCH, M.P.; HEIDEBACH, T.C.; KULOZIK, U. Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 288-297, 2008.

BÖNISCH, M.P.; HUSS, M.; LAUBER, S.; KULOZIK, U. Yoghurt gel formation by means of enzymatic protein cross-linking during microbial fermentation. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 585-595, 2007a.

BÖNISCH, M.P.; HUSS, M.; WEITL, K.; KULOZIK, U. Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. **International Dairy Journal**, v.17, p. 1360-1371, 2007b.

COZZOLINO, A.; DI PIERRO, P.; MARINIELLO, L.; SORRENTINO, A.; MASI, P.; PORTA, R. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 38, p. 289-295, 2003.

CHRISTENSEN, B.M. et al. Localization of Potential Transglutaminase Cross-Linking Sites in Bovine Caseins. **Journal Agricultural Food Chemical**, v. 44, p. 1943-1947, 1996.

DE JONG, G.A.H. e KOPPELMAN, S.J. Transglutaminase catalysed reactions: impact on food applications. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 8, p. 2798-2806, 2002.

DIMITRELI, G. e THOMAREIS, A.S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p.265–271, 2004.

EISSA, A.S. e KHAN, S.A. Acid-induced gelation of enzymatically modified, preheated whey proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 5010-5017, 2005.

FARNSWORTH, J.P.; LI, J.; HENDRICKS, G.M.; GUO, M.R. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. **Small Ruminant Research**, v. 65, p. 113-121, 2006.

FENNEMA, Owen R.. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000.

GAUCHE, C. **Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas de iogurte elaborado após tratamento enzimático**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC).

GAUCHE, C., VIEIRA, J.T.C., OGLIARI, P.J., BORDIGNON-LUIZ, M.T. Crosslinking of milk whey proteins by transglutaminase. **Process Biochemistry** (2008), doi: 10.1016/j.procbio.2008.04.004.

HUPPERTZ, T. e KRUIF, C.G. de. Rennet-induced coagulation of enzymatically cross-linked casein micelles. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 442-447, 2007.

IMM, J.Y.; LIAN, P. e LEE, C.M. Gelation and water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 2, p. 200-205, 2000.

JAROS, D.; PARTSCHEFELD, C.; HENLE, T.; ROHN, H. Review. Transglutaminase in dairy products: chemistry, physics, applications. **Journal of Texture Studies**, v. 37, p. 113-155, 2006.

KASHIWAGI, T. KEI-ICHI, Y.; ISHIKAWA, K.; ONO, K.; EJIMA, D.; MATSUI, H.; SUZUKI, E. Crystal Structure of Microbial Transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraensis*. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 46, p. 44252-44260, 2002.

LEWIS, M.J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado**. Zaragoza (Espanha): Acribia, 1993.

LORENZEN, P.C. Effects of varying time/temperature-conditions of pre-heating and enzymatic cross-linking on techno-functional properties of reconstituted dairy ingredients. **Food Research International**, v. 40, p. 700-708, 2007.

LORENZEN, P.C.; NEVE, H.; MAUTNER, A.; SCHLIMME, E. Effect of enzymatic crosslinking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, v. 55, n. 3, p. 152-157, 2002.

LUCEY, J.A. Formation and physical properties of milk protein gels. *Journal Dairy Science*, v. 85, p. 281-294, 2002.

LUCEY, J.A. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocolloids*, v. 15, 0. 603-608, 2001.

LUCEY, J.A.; TAMEHANA, M. SINGH, H. MUNRO, P.A. Effect of interactions between denatured whey proteins and casein micelles on the formation and rheological properties of acid skim milk gels. **Journal of Dairy Research**, v. 65, p.555-567, 1998.

MARUYAMA, L. Y.; CARDARELLI, H.R.; BURITI, F.C.A.; SAAD, S.M.I. Textura instrumental de queijo *petit-suisse* potencialmente probiótico: Influência de diferentes combinações de gomas. **Revista Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.26(2), p. 386-393, abr/jun. 2006.

MYLLÄRINEN, P.; BUCHERT, J.; AUTIO, K. Effect of transglutaminase on rheological properties and microstructure of chemically acidified caseinate gels. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 800-807, 2007.

O'SULLIVAN, M.M.; KELLY, A.L. e FOX, P.F. Influence of transglutaminase treatment on some physico-chemical properties of milk. **Journal of Dairy Research**, v.69, p. 433-442, 2002.

OZER, B.; KIRMACI, H.A.; OZTEKIN, S.; HAYALOGLU, A.; ATAMER, M. Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 199-207, 2007.

ÖZRENK, E. Review: The use of transglutaminase in dairy products. **International Journal of Dairy Technology**, v. 59, n. 1, p.1-7, 2006.

RIMADA, P. S.; ABRAHAM, A.G. Kefiran improves rheological properties of glucono- δ -lactone induced skim milk gels. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 33-39, 2006.

SCHORSCH, C.; CARRIE, H.; CLARK, A.H.; NORTON, I.T. Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase-induced gels. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 519-528, 2000.

SHARMA, R.; LORENZEN, P.C. e QVIST, K.B. Influence of transglutaminase treatment of skim milk on the formation of ϵ -(γ -glutamyl)lysine and the susceptibility of individual proteins towards crosslinking. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 785-793, 2001.

TÁRREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 345-353, 2004.

YASIR, S. B.M. SUTTON, K.H., NEWBERRY, M.P., ANDREWS, N.R., GERRARD, J.A. The impact of transglutaminase on soy proteins and tofu texture. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1491-1501, 2007.

WELTMANN, R.N. Breakdown of thixotropic structure as a function of time. **Journal of Applied Physics**, v. 14, p. 343-350, 1943.

Conclusões

A substituição de creme de leite por xantana se mostrou eficiente na redução de lipídios e no controle da sinerese, nas amostras de queijo cremoso adicionadas de soro líquido. A microscopia de fluorescência mostrou uma matriz mais uniforme e menos porosa, com maior incorporação das proteínas, diminuindo a separação de soro.

A adição de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar), na elaboração de queijos cremosos com soro líquido e gel enzimático, conferiu um aumento no índice de consistência, apresentando comportamento tixotrópico.

Nas amostras de queijos cremosos com soro líquido, elaboradas com polissacarídeos (xantana / locusta e guar) e gel ácido, foi observada uma interação entre o teor de sólidos totais e o índice de comportamento de fluxo (n) das amostras. Todas as amostras apresentaram comportamento tixotrópico. As amostras adicionadas de 0,3 % locusta, 0,2% xantana/0,3% guar e 0,3% guar/ 0,1% locusta, submetidas a diminuição da taxa de deformação (curvas de volta), apresentaram comportamento dilatante.

Comparando as amostras elaboradas com diferentes géis lácteos, observou-se que os enzimáticos, por possuir uma rede protéica mais organizada e mineralizada, apresentaram menores teores de sinerese e separação de soro, e maiores valores para viscosidade. Resultados semelhantes foram obtidos utilizando polissacarídeos na proporção de 0,2% xantana/0,2% de locusta.

As reações promovidas pela transglutaminase foram avaliadas nas diferentes etapas de coagulação do leite, para obtenção de géis lácteos e queijos cremosos elaborados com estes géis e soro líquido. As amostras elaboradas com a enzima após a adição de renina apresentaram significativamente maiores ($p < 0,05$) teores de

proteínas e índice de consistência, e índices de sinerese e separação de soro significativamente ($p < 0,05$) menores. Confirmando que a transglutaminase contribuiu para preservar as propriedades coagulantes do leite adicionada 7 minutos após a renina.

Todas as amostras de queijos cremosos apresentaram-se como fluidos com características pseudoplásticas, quando submetidas ao aumento da taxa de deformação. As amostras formuladas com gel enzimático, e adicionadas de xantana e xantana / locusta apresentaram maior pseudoplasticidade.